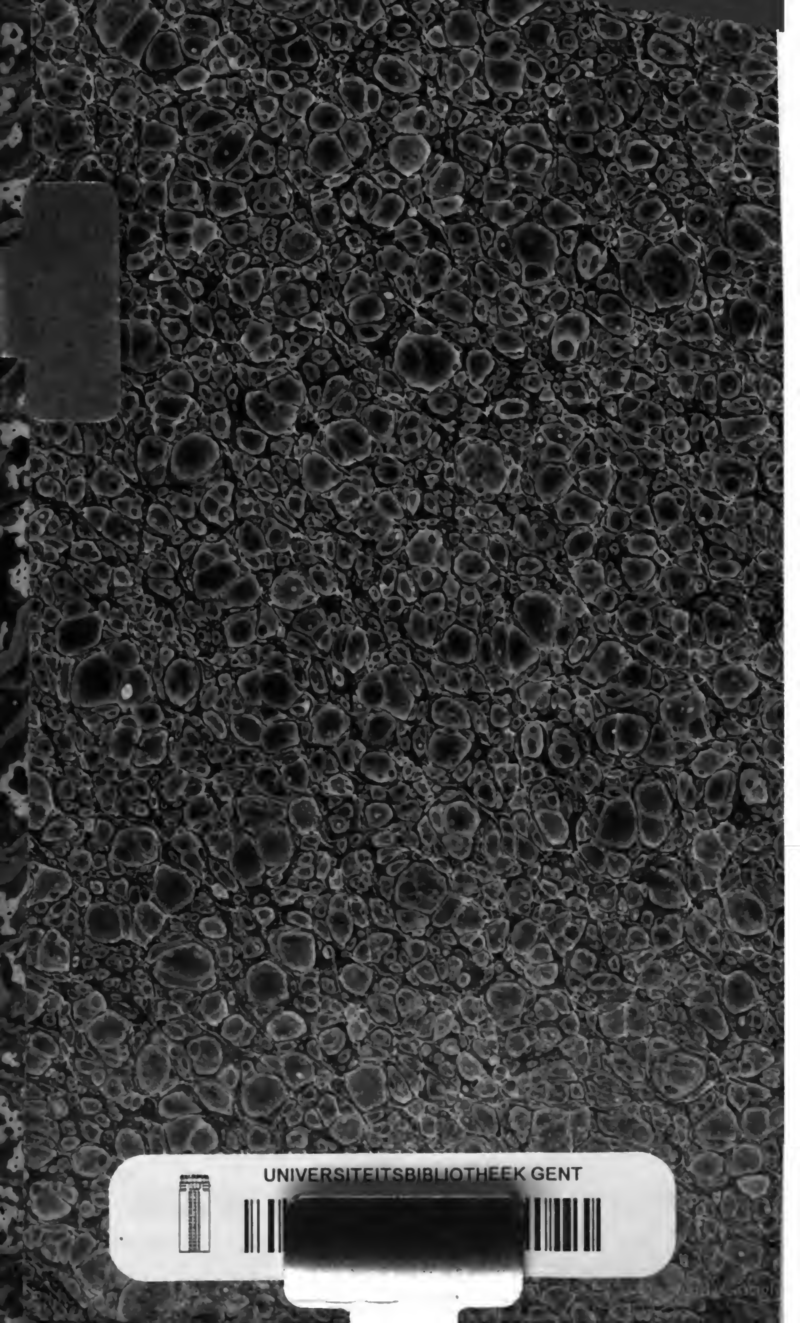



UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK GENT



Die
Naturlehre
nach ihrem
gegenwärtigen Zustande
mit Rücksicht
auf mathematische Begründung.

Dargestellt
von
Dr. Andreas Baumgartner,
k. k. Regierungsrathe, Director der k. k. Aerarial-Porcellan-, Gußspiegel- und Smalte-Fabriken, Ritter des königl. sächsischen Civil-Verdienst-Ordens, Mitglied mehrerer in- und ausländischen gelehrten Gesellschaften.

Siebente Auflage
von Genanntem und von
Dr. Andreas v. Ettingshausen,
Professor der Physik, emeritirtem Professor der höheren Mathematik an der k. k. Universität zu Wien, Mitglied mehrerer in- und ausländischen gelehrten Gesellschaften,
gemeinschaftlich umgearbeitet.

Mit acht Kupfertafeln.

Wien, 1842.
Gedruckt und im Verlage bei Carl Gerold.



Vorrede.

Bei den raschen Fortschritten der Naturlehre in unseren Tagen kann ein Buch, welches diese Wissenschaft mit einiger Vollständigkeit darzustellen beabsichtiget, wenn es ihm beschieden ist, sich wiederholter Auflagen zu erfreuen, auch wenn diese in kurzen Zeitabschnitten auf einander folgen, sehr bedeutenden Umstaltungen und Zusätzen nicht entgehen. Wird überdieß ein solches Buch bei dem öffentlichen Lehrvortrage benützt, und dadurch dem Verfasser Gelegenheit gegeben, die Zweckmäßigkeit seiner Darstellungsweise dem Prüfstein eigener und fremder Erfahrung zu unterziehen, so darf derselbe, schon aus Achtung vor dem Publikum, nicht unterlassen, bei jeder neuen Auflage auch an die stabileren Partien seines Werkes die Feile fleißig anzulegen.

Diese Bemerkungen erklären, warum vorliegendes Buch, das, bei stets gleicher Tendenz und gleichem Geiste der Behandlung seines Gegenstandes, bereits die siebente Auflage erlebt, dennoch wieder mit bereichertem Inhalte und in geänderter Form erscheint.

Wer mit dem Gange der Naturlehre während der seit der Existenz dieses Buches verflossenen neunzehn Jahre bekannt ist, wird in jeder einzelnen Auflage das redliche Bestreben nicht verkennen, dem Leser ein möglichst deutliches und treues Bild des jedesmaligen Zustandes der Wissenschaft zu verschaffen. Zur Beurtheilung dessen, was nach und nach zur Verbesserung des Buches geschehen ist, dürfte es zweckmäßig seyn, der Andeutung der Veränderungen und Zusätze, welche gegenwärtiger Auflage zu Theil wurden, einen kurzen Abriß der Schicksale der früheren Auflagen vorangehen zu lassen.

Die erste Auflage erschien im Jahre 1823 in drei kleinen Bänden, welche zusammen 40 Druckbogen und 10 Tafeln enthielten; aber schon im Jahre 1826 wurde eine neue Auflage noth-

wendig, und diese erschien in demselben Jahre in einem einzigen Bande mit 45 Druckbogen und 7 Tafeln. Da das Werk inzwischen zum Vorlesebuche in den deutschen österr. Staaten bestimmt worden war, mußten mehrere Abänderungen im Plane und in der Darstellung vorgenommen werden. Die Reduction auf einen einzigen Band geschah der Raumersparung wegen und zur Erzielung eines geringeren Preises; der Gebrauch bei den öffentlichen Vorlesungen machte eine ausführlichere Behandlung der chemischen Lehren und eine Beschränkung der mathematischen Sätze nothwendig, doch ging letztere nur so weit, daß dabei der Titel des Buches, der die Naturlehre mit besonderer Rücksicht auf mathematische Begründung darzustellen versprach, noch immer unverändert beibehalten werden konnte, um so mehr, als ein Supplementband nachfolgen sollte (der auch im Jahre 1831 wirklich erschien), wo der Leser eine ausführliche Behandlung der mathematischen Lehren finden sollte, und die mathematische Begründung der Naturlehre nicht auf wirklich ausgeführten Rechnungen, sondern auf einer zur mathematischen Behandlung geeigneten Darstellung der Begriffe und Thatsachen beruht. Eine besondere Zugabe zur zweiten Auflage war die Lehre von der schwingenden Bewegung des Wassers, weil gerade zur Zeit ihres Erscheinens die physische Literatur mit der Gebrüder Weber vortrefflichem Werke über die Wellenlehre bereichert wurde, durch welches dieser wichtige Theil der Physik auch Anfängern zugänglich gemacht wurde, während er früher nur als Eigenthum gewandter Mathematiker angesehen werden konnte, ja selbst diesen nicht so klar zu seyn schien, als er es jetzt jedem nur einigermaßen denkenden Kopfe gemacht werden kann. Im Jahre 1829 trat die dritte Auflage ans Licht. Sie erschien wieder in einem einzigen Bande, mit 49 Druckbogen und 8 Tafeln, und zu gleicher Zeit wurde die zweite Auflage ins Italienische übersetzt. Die vielen, im Verlaufe der Zeit durch die Fortschritte der Physik und die Erfahrungen des Verfassers im Lehrfache nothwendig gewordenen Zusätze machten es aber unerläßlich, den Druck enger einzurichten und, besonders in den Citaten, manche Abkürzung einzuführen. Die Ausbildung der Elektricitätslehre und die Wichtigkeit der Untersuchungen des elektrischen Stromes durch die Magnetnadel veränderten die Ordnung der Materien des zweiten Theils und nöthigten die Lehre vom Magnetismus der Elektricität vorauszugehen, um ihr hülfreiche Hand leisten zu können, die Elektricitätslehre selbst bekam eine ganz neue Anordnung und sollte die Spuren der den

Geist der Wissenschaft verletzenden, chronologischen Anordnung ihrer einzelnen Theile verlieren, die in den früheren Auflagen und fast in allen physikalischen Werken nur zu deutlich hervortritt, ja es sollte bei dieser Lehre dasselbe Princip der Anordnung geltend gemacht werden, welches bei der Mechanik der schweren Körper längst herrschend geworden ist, wo man die Gesetze der Bewegung von jenen des Gleichgewichts aufs strengste absondert. Im Jahre 1832 wurde die vierte Auflage (mit 8 Kupfertafeln und 841 Seiten Text) nothwendig; sie unterschied sich von der dritten durch jene Modificationen, welche die schnellen Fortschritte der Wissenschaft und die Erfahrungen des Verfassers herbeiführten. So z. B. war in derselben der chemische Theil stark umgearbeitet, insbesondere um ihn der Idee einer allgemeinen physikalischen Chemie näher zu bringen; die Lehre von den Molecularkräften wurde mehr begründet, und die darauf beruhenden Erörterungen sollten mehr Bestimmtheit und Schärfe erhalten, die Optik wurde besonders in ihrem photometrischen Theile ausführlicher bearbeitet und die Elektricitätslehre stark abgeändert. Im Jahre 1836 erschien die fünfte Auflage, an Format und Druck ihren Vorgängern gleich, aber mit 9 Kupfertafeln und 55 Bogen Text. Hier haben wieder die Optik und die Elektricitätslehre die meisten Veränderungen und Bereicherungen erfahren. In ersterer wurden die hypothetischen Erörterungen über die Natur des Lichtes von den Darstellungen der optischen Gesetze ganz getrennt, und dabei die Emanationshypothese nur als historische Merkwürdigkeit behandelt, in der festen Ueberzeugung, daß sie auf keinen besseren Platz mehr Anspruch machen kann, als auf das Archiv der Physik. Die Elektricitätslehre erstreckt ihren Einfluß eben so auf jene vom Magnetismus, wie die Optik auf die Wärmelehre Einfluß nimmt, und es mußte schon darum der Abschnitt vom Magnetismus einige Modificationen erfahren, abgesehen, daß auch in diesem Theile der Naturlehre schätzbare Erweiterungen durch den Fleiß und das Genie der Physiker eingetreten sind, worunter die von Faraday entdeckte Erregung elektrischer Ströme durch galvanische und magnetische Induction den ersten Platz behauptet.

Mit der im Jahre 1839 ans Licht getretenen sechsten Auflage beginnt ein neuer Abschnitt in der Geschichte des Buches. Der Verfasser, dessen veränderte Wirkungssphäre ihm nicht mehr erlaubte die Ausbildung des Lehrvortrages der Naturlehre als eines der Hauptziele seiner Thätigkeit zu betrachten, aber aus eigener Erfahrung mit dem wohlthätigen Einflusse bekannt, den die wirk-

liche Ausübung des Lehramtes auf das Gedeihen seines Buches hatte, glaubte dieses am besten dadurch zu fördern, daß er sich mit seinem Freunde und Nachfolger im Lehramte der Physik an der Wiener Universität (dessen Rath ihm schon bei der ersten Auflage nützlich war, und dem er auch das Buch gewidmet hatte) zur gemeinschaftlichen Bearbeitung der neuen Auflage verband. Der gedrängtere Druck gestattete, der Vermehrungen ungeachtet, das Ganze auf 49 Druckbogen und 8 Tafeln zusammenzuziehen. Plan und Anordnung blieben hier, wenigstens dem Principe nach, dieselben; die wichtigsten Aenderungen betrafen die Einleitung und das erste Kapitel, wo mehrere Begriffe schärfer gestellt wurden, die Lehre von den einfachen Maschinen, welche auf einen einzigen Lehrsatz zurückgeführt wurde (s. gegenwärtige Auflage S. 109), mehrere Stellen in der Lehre von der Bewegung, vornehmlich aber die Optik und die Elektricitätslehre. In ersterer insbesondere wurden die Folgerungen aus den Thatsachen von jenen aus hypothetischen Voraussetzungen streng geschieden, die Ableitung der Erscheinungen aus der Undulationstheorie aber so vollständig gegeben, als es ohne Hilfe der höheren Analyse thunlich war, wobei sich Gelegenheit fand einige neue Demonstrationen vorzutragen.

Die gegenwärtige siebente Auflage wurde von den beiden Herausgebern wieder in völliger Uebereinstimmung einer, aber tiefer eingreifenden Umarbeitung unterzogen, und sie haben alle Kräfte aufgeboten, um diese Auflage des Prädicates einer vermehrten und verbesserten würdig zu machen. Die Einleitung und das Kapitel von den allgemeinen Eigenschaften der Körper erhielten eine wiederholte Ausfeilung; der chemische Theil wurde vom Grunde aus neu gearbeitet, und so gehalten, daß die Principien, deren Inbegriff den eigentlichen physikalischen Theil der Chemie ausmacht, möglichst ans Licht treten; dabei war man sorgfältig darauf bedacht, den Leser mit der Sprache und der Vorstellungsweise der jetzt herrschenden besten Schule gründlich bekannt zu machen, damit er, bei weiterer Ausbildung mittelst der Werke der Meister, die von diesen vorgetragenen Lehren nur als Fortsetzung seiner bereits erworbenen Anfangsgründe betrachten und jene sogleich an diese anknüpfen könne, ohne erst eine neue Sprache lernen und neue Vorstellungsweisen sich aneignen zu müssen. In der Statik wurde der in den früheren Auflagen vorgetragene Beweis Duchayla's für den Satz vom Parallelogramme der Kräfte durch einen anderen ersetzt, der in der Hauptsache mit dem vor langer Zeit von dem trefflichen deutschen Mathematiker Lambert

gegebenen, aber wie es scheint wenig beachteten Beweise des genannten Satzes übereinstimmt. Dieser Beweis ist von dem Uebelstande frei, die Zusammensetzung der auf einen isolirten Punct wirkenden Kräfte auf Prämissen zu gründen, welche das Vorhandenseyn eines Systems unveränderlich verbundener Puncte voraussetzen, und auf Eigenschaften eines solchen Systemes beruhen. Die Lehre von den Capillarphänomenen tropfbarer Flüssigkeiten, die Sätze von dem Gleichgewichte der Gase, die Hygrometrie erhielt eine ganz neue Bearbeitung. Die Lehre von der schwingenden Bewegung der Körper wurde als ein selbstständiges Ganzes behandelt, dessen Principien auf gleiche Weise der Betrachtung der Wasserwellen, der Erklärung der Erscheinungen des Schalles, wie auch der Undulationstheorie des Lichtes zum Grunde gelegt werden können. Im zweiten Theile schien es passend die Abschnitte vom Magnetismus und von der Elektricität jener vom Lichte und von der Wärme vorangehen zu lassen. Abgesehen von dem besseren Zusammenhange, der dadurch in die Wärmelehre gebracht wird, welche seit Melloni's Arbeiten der Kenntniß der Elektricitätslehre nicht entbehren kann, haben die Lehrer der Physik an unseren Universitäten und Lyceen bei der neuen Ordnung nicht mehr mit den Schwierigkeiten zu kämpfen, welche vordem die veränderliche Witterung des Frühjahres den wichtigsten optischen Versuchen in den Weg legte. Sämmtliche vier Abschnitte erscheinen radikal umgearbeitet; in die Lehre vom Magnetismus sind die Principien der Arbeiten von Gauß aufgenommen, die Lichtlehre wurde direct aus der Undulationstheorie entwickelt, der Vortrag der Wärmelehre erhielt durch die wichtigen neuen Funde auf diesem Gebiete eine veränderte Gestalt und gewichtige Zusätze. Am meisten war die Gährung, in der die Wissenschaft sich befindet, und die Schwierigkeit allen Anforderungen zu genügen, bei der Bearbeitung der Elektricitätslehre fühlbar. Die schöne Anwendung, welche Poggendorff von dem Ohm'schen Gesetze auf die Theorie der zusammengesetzten Säule machte, kam uns erst zu Gesichte als die von der Elektricität handelnden Bogen bereits abgedruckt waren; wir halten dieselbe für zu wichtig, um ihr nicht noch einen Platz in einem Nachtrage zu widmen, den wir am Ende des Buches folgen lassen, um so dem Leser die Wissenschaft, so weit es in unseren Kräften steht, in dem neuesten Zustande zu übergeben. Bei der Reichhaltigkeit des Materiales hat das Volum der beiden ersten Theile selbst bei dem angewandten compressen Drucke so zugenommen, daß um dem Buche keine allzu große

Ausdehnung zu geben, der dritte Theil möglichst zusammen gezogen werden mußte, was sich übrigens, ohne der Sache selbst Abbruch zu thun, bewerkstelligen ließ Dennoch ist die Seitenzahl auf 900 angewachsen. Die Herausgeber besorgen aber nicht, daß man ihnen dieß zum Vorwurfe machen werde, sie glaubten vielmehr gerade dadurch sich Ansprüche auf Anerkennung zu erwerben, daß sie darnach strebten, ihr Buch fähig zu machen, den Freunden der Naturlehre diese Wissenschaft so darzubieten, wie es der gegenwärtige Zustand derselben erfordert, also seinen Einfluß auch über die Schule hinaus zu führen, für die es wohl zunächst aber nicht ausschließend bestimmt ist. Dem geübten Lehrer, der zugleich die Wissenschaft und das Bedürfniß der Schule kennt, wird es ein leichtes seyn, dasjenige wegzulassen, was ihm mehr zur weiteren Ausbildung fähigerer Köpfe, oder zum Nachschlagen, als zum ersten Unterrichte bestimmt zu seyn scheint.

Wien, im Juni 1842.

Inhalt.

Erster Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erster Abschnitt. Magnetismus.

Zweiter Abschnitt. Elektricität.

Dritter Abschnitt. Licht.

Vierter Abschnitt. Wärme.

Dritter Theil.

Naturerscheinungen im Großen.

Erster Abschnitt. Physische Astronomie.

Seite

Zweiter Abschnitt. Physische Geographie.

Dritter Abschnitt. Meteorologie.

Anmerkung. Die mit Sternchen (*) bezeichneten Kapitel fallen bei kleinen Lehranstalten, laut §. 32 des Studienplanes, in das Gebiet des Professors der Mathematik.

Naturlehre.

Erster Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Einleitung.

1. Es ist eine unläugbare Thatsache des Bewußtseyns, daß wir Vorstellungen haben, zu welchen wir auf dem Wege sinnlicher Wahrnehmung gelangen. Alles, was sinnlich wahrgenommen wird, nennen wir im Allgemeinen **Erscheinung** oder **Phänomen**. Sinnliche Wahrnehmungen, besonders jene, welche der Tastsinn vermittelt, nöthigen uns, etwas im Raume Existirendes und denselben Erfüllendes anzunehmen, was den Erscheinungen zum Grunde liegt. Wir bezeichnen es mit dem Worte **Materie**. Mit der Erfüllung des Raumes ist **Ausdehnung** nothwendig verbunden. Materie von begrenzter Ausdehnung nennen wir **Körper**, und den Inbegriff der Körper **Natur** in materieller Bedeutung, wohl auch **Sinnenwelt**, **Körperwelt**.

In formeller Bedeutung bezeichnet das Wort Natur das innere Princip alles dessen, was zum Daseyn eines Dinges gehört. In diesem Sinne wird es genommen, wenn man z. B. von der Natur des Wassers, des Goldes u. s. w. spricht.

2. Die Betrachtung der Natur eröffnet uns eine Quelle von Erkenntnissen, deren Inbegriff **Naturkunde**, dies Wort im weitesten Sinne genommen, genannt werden kann. Aber nur diejenigen Erkenntnisse sind gleichartig, welche der aus einerlei Standpunct unternommenen Naturbetrachtung entsprechen, und nur diese können, in systematische Verbindung gebracht, eine Wissenschaft darstellen. Es finden demnach eben so viele verschiedene Naturwissenschaften Statt, als es Gesichtspuncte gibt, von denen man bei der Naturforschung ausgeht. Bei dem allgemeinsten Ueberblicke ergeben sich uns zunächst zwei verschiedene Betrachtungsweisen der Natur. Wir finden nämlich in ihr keinen weiteren Gegenstand der Forschung, als die Körper, deren Inbegriff sie ist, und die durch die Körper dargebotenen Erscheinungen. Letztere sind theils Eigenschaften der Körper, theils Veränderungen, die durch wechselweises Aufeinanderwirken derselben in der Sinnenwelt vor sich gehen. Es kann nun die Absicht der Forschung entweder auf *die Körper selbst* gerichtet seyn, und die Gesammtheit der Erscheinungen, welche sie uns darbieten, nur in so weit in Erwägung kommen, als sich die Körper durch dieselben von einander unterscheiden, mithin dadurch bestimmt werden; oder es sind gerade die Erscheinungen in der Körperwelt das eigentliche Object der Untersuchung, und die Körper kommen nur in so weit in Betrachtung, als sie die Träger dieser

Erscheinungen sind. Im ersten Falle handelt es sich um die Formen der Körper, und um den Zusammenhang dieser Formen nach dem Principe der Aehnlichkeit; im zweiten hingegen um die Gesetze und gegenseitige Abhängigkeit der Erscheinungen in der Sinnenwelt nach dem Principe der Causalität. Hiedurch erhalten zwei Naturwissenschaften ihr Daseyn, nämlich die Naturgeschichte, welche die Kenntniß der Naturdinge in ihrem ursprünglichen Zustande nach ihrer Aehnlichkeit, und die Naturlehre, in weiterer Bedeutung des Wortes, welche die Kenntniß der Naturerscheinungen in ihrem Causalnexus zum Gegenstande hat.

3. Die Grundlage der Naturlehre ist die Erfahrung, deren Ergebnisse wir nach den Gesetzen unseres Verstandes auffassen und verarbeiten. Der Umfang unserer Naturerkenntniß erweitert sich nur allmälig durch Entdeckung neuer Thatsachen, oder durch Enthüllung eines noch unbeachtet gebliebenen Zusammenhanges unter denselben. Schon die bloße Kenntniß des Stattfindens einer Naturerscheinung ist anziehend und wichtig. Der Nutzen, den wir daraus ziehen können, steigt aber bedeutend, wenn es gelungen ist, die Gesetze auszumitteln, nach denen die Erscheinung sich richtet. Das höchste Interesse endlich wird erreicht, wenn wir im Stande sind, die Ursache eines Phänomens nachzuweisen, oder wie die Naturforscher zu sagen pflegen, das Phänomen zu erklären. Mit der Kenntniß der Gesetze und der Ursachen der Erscheinungen ist die Untersuchung derselben vollständig abgeschlossen, denn es kommen hier keine anderen Fragen in Betrachtung, als wie jede Erscheinung erfolgt und warum sie erfolgt.

Wiewohl es keinem Zweifel unterworfen ist, daß wir nur durch Erfahrung zur Kenntniß der Körperwelt gelangen, so stammt doch nicht unsere gesammte Kenntniß derselben aus der Erfahrung. Es trägt nämlich diese Kenntniß immer das Gepräge des anschauenden und denkenden Subjectes an sich, da wir Dinge außer uns nur der, allen Menschen gemeinschaftlichen Form der Sinnlichkeit gemäß anschauen, und über so gewonnene Anschauungen nur nach Regeln denken können, die in der Natur unseres Verstandes gegründet sind. Kennen wir die Gesetze unseres Denk- und Anschauungsvermögens, so sind wir im Stande, den a priori, d. i. unabhängig von der Erfahrung bestehenden Theil unserer naturwissenschaftlichen Erkenntniß von dem empirischen, d. i. lediglich durch Erfahrung gegebenen zu sondern. Der erstere macht die reine Naturlehre aus, im Gegensatze mit der Erfahrungsnaturlehre, deren Quelle sinnliche Wahrnehmungen sind. Daß zur umfassenden Naturkenntniß bloße reine Naturlehre nicht hinreicht, fällt in die Augen; aber auch die Erfahrungsnaturlehre für sich allein genügt nicht, weil zur richtigen Anwendung der Erfahrungssätze Principien a priori nöthig sind, und weil bloße Erfahrung keine strenge Allgemeinheit, mithin keine wissenschaftliche Festigkeit gewährt. Es ist daher nöthig, beide Theile der Naturlehre in Verbindung zu behandeln. Bei dem Lehrvortrage zeigt sich eine ängstliche Scheidung dessen, was dem einen oder dem anderen angehört, minder passend, weßhalb vorliegendes Werk darauf nicht eingeht.

4. Um Naturerscheinungen gewahr zu werden, und noch mehr um die Gesetze zu entdecken, woran sie gebunden sind, ist es unerläß-

lich, allen Vorgängen in der Natur die größte Aufmerksamkeit zu widmen. Die aufmerksame Betrachtung eines Phänomens heißt Beobachtung. Wiewohl ununterbrochen Erscheinungen vor sich gehen, bei denen sich die Natur in ihrer freien, von unserem Zuthun ganz unabhängigen Wirksamkeit äußert; so sind wir doch gezwungen, theils um noch unbekannte Erscheinungen gewahr zu werden, theils um die bereits bekannten unter möglichst abgeänderten Umständen betrachten zu können, ihr Auftreten selbst zu veranlassen. Man nennt die absichtliche Herbeiführung einer Erscheinung einen Versuch oder ein Experiment. Die Anstellung zweckmäßig angeordneter Versuche ist das sicherste Mittel, die Wirksamkeit der Natur von allen Seiten kennen zu lernen, und den Gesetzen wie auch dem Zusammenhange der Erscheinungen auf die Spur zu kommen. Bei dem Unterrichte in der Naturlehre sind sie als Beweismittel für die Richtigkeit der aufgestellten Behauptungen gleichfalls unentbehrlich.

5. Sowohl zur Anstellung mancher Beobachtungen als auch zu Versuchen braucht man Instrumente, deren Zweck, Bestandtheile und Grenzen der Richtigkeit der Naturforscher genau kennen muß, besonders, wenn er sie nicht bloß dazu braucht, das Stattfinden gewisser Erscheinungen nachzuweisen, sondern sie der Größe nach zu bestimmen, und den Einfluß jedes darauf Bezug habenden Nebenumstandes anzugeben. Es ist klar, daß dazu eine, nicht Jedermann eigene Geschicklichkeit, viel Uebung und ein besonderer Scharfblick gehört.

Indeß erhält der geschickteste Beobachter mit den besten Instrumenten doch nie vollkommen fehlerfreie Resultate, und es bleibt, um der Wahrheit möglichst nahe zu kommen, nichts übrig, als die Operation oft genug zu wiederholen, und aus allen Resultaten dasjenige zu suchen, welches mit dem geringsten Fehler behaftet ist. Dahin gelangt man mittelst einer besondern Rechnungsmethode, die einen Theil der Wahrscheinlichkeitsrechnung ausmacht. (Siehe: Die Wahrscheinlichkeitsrechnung in ihrer Anwendung auf das wissenschaftliche und praktische Leben, von J. J. Littrow. Wien 1833. Lehrbuch der Wahrscheinlichkeitsrechnung und deren wichtigsten Anwendungen, von S. D. Poisson. Braunschweig 1841 (aus dem Französ. von Schnuse). *A Preliminary discourse on the study of natural philosophy by J. F. W. Herschel. London 1830. Senebier l'art d'observer. Genève 1775.* Deutsch: Leipzig 1776. *Nollet l'art des expériences. Paris 1770.* Deutsch: Leipzig 1771.)

6. Das Verfahren, wodurch wir die Gesetze der Erscheinungen in ihrem Hergange erkennen, gründet sich auf die Annahme, daß eine Regel, die sich in einer gewissen Anzahl willkürlich gewählter Fälle bestätigt, allgemeine Gültigkeit habe, mithin in der Einrichtung der Natur selbst bestehe. Man nennt dieses Verfahren die Induction. Es gewährt zwar an sich keine absolute oder mathematische Gewißheit, die Wahrscheinlichkeit seiner Ergebnisse erreicht aber meistens einen so hohen Grad, daß wir selbe der Gewißheit ohne Bedenken völlig gleich setzen.

Durch zweckmäßig angestellte Versuche findet man, daß der Druck, den atmosphärische Luft gegen die Wände des Gefäßes, in welchem sie

eingeschlossen ist, ausübt, auf das Doppelte, Dreifache u. s. w. steigt, wenn man ohne Aenderung des Wärmegrades den Raum desselben Luftquantums auf die Hälfte, das Drittel u. s. w. herabsetzt. Auf die einfache Regelmäßigkeit bauend, die in der Einrichtung der Natur allenthalben hervortritt, schließt der Naturforscher aus einer geringen Anzahl gut harmonirender Beobachtungen dieser Art, daß, wenigstens innerhalb der Grenzen unserer Erfahrung, das Bestreben der atmosphärischen Luft sich auszudehnen, bei einerlei Temperatur mit dem Raume, in den sie eingeschlossen ist, im verkehrten Verhältnisse stehe. Da sich ein Gleiches auch bei anderen Luftarten zeigt, so sehen wir dieses Gesetz als eine nothwendige Folge des luftförmigen Zustandes an, und betrachten selbst Abweichungen davon in gewissen besonderen Fällen als das Resultat der beginnenden Störung dieses Zustandes.

7. Wenn wir den Ursachen der Erscheinungen nachspüren, finden wir in vielen Fällen das Auftreten einer Erscheinung durch das Vorhandenseyn einer anderen bedingt, die selbst wieder ihren Grund in dem Daseyn einer sinnlich wahrnehmbaren Ursache hat. Auf diese Weise stellt sich uns, indem wir von einem bestimmten Phänomen ausgehend, stets für das, was wir als Wirkung irgend eines sinnlichen Grundes anzunehmen genöthiget sind, die Angabe desselben fordern, eine Reihe von Phänomenen dar, die gliedweise unter einander in der Beziehung von Wirkung und Ursache stehen. Eine solche Reihe kann aber in der Richtung des Aufsteigens von Wirkung zur Ursache auf dem Felde der sinnlichen Wahrnehmung offenbar nicht in das Unendliche fortgehen, sondern wird durch ein Phänomen geschlossen, dem keine durch die Sinne erkennbare Ursache entspricht. Werden wir nun bei einem solchen stufenweisen Erklären von Phänomenen endlich auf eine Erscheinung geführt, für welche wir keinen sinnenfälligen Grund mit voller Gewißheit nachzuweisen vermögen, so kommt es darauf an, ob sich uns diese Erscheinung als eine so einfache darstellt, daß wir uns zu der Annahme berechtigt finden, es entspreche ihr wirklich gar keine sinnlich wahrnehmbare Ursache, oder ob wir das Vorhandenseyn einer solchen Ursache voraussetzen. In dem ersten Falle betrachten wir das Stattfinden einer solchen unerklärbaren Erscheinung als eine ursprüngliche, in dem Wesen der Natur liegende Einrichtung, und das Gesetz, welches sich in ihrem Hergange zeigt, als ein **oberstes** oder **Fundamental-Naturgesetz**, und bezeichnen die nichtsinnliche Ursache derselben mit dem Worte **Kraft**. In dem anderen Falle hingegen nehmen wir zu einer Vermuthung über den sinnlichen Grund der Erscheinung, d. i. zu einer sogenannten **Hypothese**, unsere Zuflucht, wir setzen nämlich einen dem gewöhnlichen Gange der Natur gemäßen Grund voraus, und versuchen, ob sich die Erscheinung daraus erklären läßt. In der hypothetischen Erklärung der Erscheinungen weichen die Naturforscher nicht selten von einander ab, indem sie den Gründen, die für diese oder für jene Meinung sprechen, verschiedenes Gewicht beilegen.

Ein mit erwärmter Luft gefüllter Luftballon steigt in die Höhe, weil ihn die atmosphärische Luft stärker in die Höhe drückt, als er durch sein Gewicht zu fallen sucht; jener Druck ist aber stärker als dieses

Gewicht, weil warme Luft specifisch leichter ist, als kältere; jene ist leichter als diese, weil sie dünner ist; sie ist dünner, weil die Wärme eine ausdehnende Kraft besitzt, die wir eben so wenig weiter zu erklären vermögen als die Schwere der Luft und anderer Körper. Wir betrachten selbe als in der ursprünglichen Einrichtung der Natur gegründet, und wagen nicht einmal über deren Ursache eine Vermuthung. Die mannigfaltigen Erscheinungen des Sehens sind von der Art, daß wir, zumal wenn wir das berücksichtigen, was wir über die objective Ursache der übrigen sinnlichen Wahrnehmungen mit Bestimmtheit wissen, uns nicht erwehren können, denselben einen materiellen Grund unterzulegen. Die meisten Naturforscher nehmen gegenwärtig zur Erklärung derselben die Existenz eines eigenen ätherischen Stoffes an, dessen durch die leuchtenden Körper erregte schwingende Bewegung von unserem Auge auf ähnliche Weise als Licht empfunden wird, wie unser Gehörorgan die durch tönende Körper hervorgebrachten Schwingungen der Luft als Schall wahrnimmt. Früher hatte die Annahme eines eigenen Lichtstoffes die Oberhand, den man von den leuchtenden Körpern ausgehen und in unser Auge eindringen ließ, so daß nach dieser Ansicht der Gesichtssinn auf ähnliche Weise afficirt wird, wie der Geruchssinn, von dem erwiesen ist, daß er durch seine Ausflüsse aus den Körpern angeregt wird. Von den Voraussetzungen, die man über die Natur der Wärme, der Elektricität, des Magnetismus macht, wird in der Folge ausführlich die Rede seyn.

8. Die Erscheinungen, welchen wir unmittelbar Kräfte zum Grunde legen müssen, sind so mannigfaltig, daß wir, wenigstens vor der Hand, nicht alle derselben aus einer einzigen Quelle abzuleiten vermögen. Wir nehmen deßhalb für jede zusammengehörige Reihe von Erscheinungen, die wir nicht weiter erklären können, eine besondere Kraft an, und benennen sie nach der letzten dadurch zu erklärenden Erscheinung. So spricht man von einer Schwerkraft, von einer Adhäsionskraft, von einer Lebenskraft u. dgl., um dadurch den letzten Grund der Schwere, der Adhäsion, des Lebens organisirter Wesen u. dgl. zu bezeichnen.

Wiewohl es keinem Zweifel unterworfen ist, daß es Naturkräfte geben muß, weil die Erscheinungen der Körperwelt doch irgend einen letzten, im Wesen der Natur liegenden Grund haben; so sind doch die meisten, vielleicht alle bis jetzt angenommenen Naturkräfte, insbesondere betrachtet, nichts als Hypothesen. Denn es ist nicht erwiesen, daß Erscheinungen, welche jetzt für die letzten gehalten werden, nicht doch eine empirische Quelle haben. Ja selbst welche von mehreren in gegenseitiger Abhängigkeit stehenden Erscheinungen die letzte ist, kann ungewiß seyn, wozu unter andern die Lehre vom Zusammenhange der magnetischen und elektrischen Erscheinungen in ihrem jetzigen Zustande merkwürdige Belege liefert.

9. Wenn eine Hypothese die Erscheinungen leicht, einfach, ohne Umschweife und Hilfshypothesen erklärt und keiner anerkannten Wahrheit widerspricht, vielmehr durch Analogie ihrer Sätze mit bereits als richtig erwiesenen sich empfiehlt; so kann sie so lange dem wahren Grunde substituirt werden, als dieser noch verborgen ist. Als wahre Ursache kann eine solche Voraussetzung erst dann gelten, wenn sie entweder als Erscheinung vorkommt, oder die Erscheinungen nicht bloß

im Allgemeinen und der Qualität, sondern auch der Quantität nach erklärt, mithin, der Rechnung unterworfen, Resultate gibt, die mit der Erfahrung übereinstimmen, oder endlich, wenn bewiesen ist, daß die Erscheinungen in ihrem Zusammenhange nicht anders erklärt werden können.

Die Annahme eines von leuchtenden Körpern ausstrahlenden Lichtstoffes ist keine glückliche Hypothese, denn sie erklärt die Erscheinungen nur mittelst vieler Hilfshypothesen; eben so verhält es sich mit der Annahme negativ schwerer Körper, denn sie widerspricht der Erfahrung, welche lehrt, daß alles, dessen Materialität erwiesen ist, positiv schwer sey. Die Luftelektricität war so lange ein bloß hypothetisches Wesen, bis Franklin ihr Daseyn factisch nachwies; die elliptische Bewegung der Planeten um die Sonne ist keine Hypothese mehr, weil sich aus ihr, und nur aus ihr allein, alle dahin gehörenden Erscheinungen der Größe nach genau so ergeben, wie sie die Erfahrung nachweiset.

10. Eine Hypothese, die man sorgfältig braucht und bei der man nie vergißt, daß man es nicht mit einem bewiesenen Grunde zu thun hat, ist für die Wissenschaft von großem Nutzen, denn man kann mit ihrer Hilfe Erscheinungen in einen Zusammenhang bringen, die sonst als ein Chaos unübersehbar wären, ja sogar die Erklärung derselben vorbereiten. Die Geschichte der Naturlehre liefert mehrere Beispiele, welche dieses bestätigen.

Die hypothetische Voraussetzung eines elektrischen Fluidums gibt einen sicheren Wegweiser durch das ganze weitläufige Gebiet der elektrischen Erscheinungen ab; aus ihr hat man sogar die Einrichtung der Blitzableiter erkannt, welche sich bis jetzt noch immer als zweckmäßig bewährt hat.

11. Das letzte Ziel, wornach die Naturlehre strebt, ist also die Zurückführung aller Erscheinungen in der Sinnenwelt auf gewisse oberste Gesetze, über welche sie nicht hinaus kann, aus denen aber sämmtliche Naturgesetze abgeleitet werden können, und die Erklärung eines Phänomens ist nichts anderes, als die Durchführung einer solchen Ableitung. Je geringer die Anzahl der Grundgesetze ist, auf welche alle wahrnehmbaren Erscheinungen reducirt werden können, desto weiter ist man in dem Gebiete der Naturlehre vorgedrungen. Die obersten Naturgesetze lassen sich meistens nicht unmittelbar durch Erfahrung nachweisen, sondern ergeben sich nur mittelbar durch Schlüsse aus Daten der Erfahrung, wobei besonders die Hilfe der mathematischen Analysis von größter Erheblichkeit ist, welches bewunderungswürdige Werkzeug des menschlichen Geistes, überall wo quantitative Bestimmungen Platz finden, mit dem besten Erfolge angewendet wird, um von dem Bedingten auf das Bedingende zu schließen. Erst wenn die obersten Naturgesetze aufgestellt worden sind, erhalten die untergeordneten vorläufig durch Induction ausgemittelten Gesetze ihre wahre Deutung und völlige Begründung.

Kepler hat durch mühsame Vergleichung einer großen Menge von Beobachtungen die nach ihm genannten Gesetze der Bewegung der Planeten um die Sonne entdeckt, aber erst nachdem es dem Genie

Newton's gelungen war, in der gegenseitigen Anziehung der Himmelskörper den Grund ihrer Bewegungserscheinungen zu erkennen, erschien Inhalt und Umfang der Keplerschen Gesetze in dem wahren Lichte. Auf dem von Newton betretenen Wege war es sogar möglich, die Attraction der Himmelskörper auf eine allgemeine Eigenschaft aller Materie zurückzuführen, vermöge welcher je zwei kleinste materielle Theilchen einander nach einem bestimmten Gesetze anziehen. Eben so schließt man aus der Art, wie ein von Elektricität durchströmter Draht auf einen anderen oder auf eine Magnetnadel einwirkt, auf die Richtung und Größe der Kraft, mit welcher ein kleinstes Theilchen eines elektrischen Stromes ein anderes Stromtheilchen oder ein magnetisches Element afficirt. Solche Schlüsse beruhen bloß auf mathematischem Calcul, denn mit kleinsten Theilchen lassen sich keine Versuche machen, es läßt sich nicht einmal ein Theil eines elektrischen Stromes für sich allein darstellen.

12. Es gibt so viele Körper und so mannigfaltige Erscheinungen an denselben, daß ein menschlicher Geist nicht vermag sie insgesammt zu umfassen. Man ist deßhalb genöthiget, bei der Bearbeitung der Naturlehre die Erscheinungen, durch welche das Leben der organisirten Wesen, des Menschen, der Thiere und der Pflanzen sich äußert, ihrer Eigenthümlichkeiten wegen, von denjenigen abzusondern, welche die leblosen Körper darbieten. Die Betrachtung der ersteren ist der Gegenstand einer besonderen Wissenschaft, welche Physiologie heißt, während das Studium der unorganischen Natur der Naturlehre im engeren Sinne des Wortes oder der sogenannten Physik anheim fällt. Die Physik bahnt der Physiologie den Weg, daher geht bei dem wissenschaftlichen Unterrichte jene dieser voran.

13. Selbst die Physik hat, obgleich sie, einige wenige Bestrebungen der älteren Zeit abgerechnet, ausschließend das Werk der letzten Jahrhunderte ist, durch das Zusammenwirken geistreicher Männer eine bewunderungswürdige Ausdehnung erlangt, und ein Menschenleben ist jetzt nicht mehr hinreichend, die täglich sich mehrenden Schätze des physikalischen Wissens vollständig zu übersehen. Deßhalb ist man genöthigt, zum Behufe des Unterrichtes, die durch Faßlichkeit sich auszeichnenden Hauptlehren unter der Benennung Elementarphysik zusammen zu fassen, und hiedurch zum Studium der höheren Physik vorzubereiten. Die Elementarphysik heißt insbesondere Experimentalphysik, wenn sie die Richtigkeit ihrer Behauptungen mehr durch Hinweisung auf Thatsachen, welche sich an Experimenten vor Augen stellen, zu rechtfertigen sucht, als durch Ableitungen der Gesetze der Erscheinungen aus den ersten Gründen mittelst mathematischer Deductionen, im Gegensatze mit der theoretischen Physik, welche der mathematischen Methode sich bedient. Auch werden, der Reichhaltigkeit des Materials wegen, einzelne Zweige der Naturlehre als für sich bestehende Wissenschaften bearbeitet. Hierauf gründet sich die Zerfällung der Naturlehre in die mechanische, welche es mit den räumlichen Veränderungen der Körper, die in ihrer Allgemeinheit aufgefaßt nichts als Bewegungen sind, zu thun hat, und in die chemische Naturlehre oder Chemie, welche von den Veränderungen der inne-

ren materiellen Beschaffenheit handelt. Aber auch einzelne Partien der mechanischen Naturlehre lassen sich als besondere Wissenschaften darstellen, dergleichen die Mechanik, Optik, Astronomie u. s. w. sind. Daß eine absolute Trennung dieser Wissenschaften im Vortrage nicht möglich sey, ist klar. Im vorliegenden Werke, welches den Anfangsgründen der theoretischen Physik gewidmet ist, wird das Wesentlichste aller hier genannten Wissenschaften vorgetragen, und es hat zur Aufgabe, die allgemeinen Veränderungen der unorganischen Körperwelt zu erklären und ihre Gesetze nachzuweisen.

14. Der Nutzen, den die Naturlehre dem Menschen als Mitglied eines Staates oder als moralischem Wesen verschafft, ist so groß, daß er hier nur kurz angedeutet, keineswegs erschöpfend aus einander gesetzt werden kann. Alle technischen Gewerbe sind ihrer Vollkommenheit desto näher, je mehr das bei ihrer Ausübung gebräuchliche Verfahren auf den Naturgesetzen beruht, mit deren Entwicklung sich die Physik beschäftiget; der Ackerbau bedarf derselben Gesetze, um seine Producte nachhaltig zu gewinnen und seine Kräfte zweckmäßig anzuwenden; der Handel zu Wasser und zu Lande nimmt die Naturlehre in Anspruch, und dieselbe Wissenschaft ist es, welche die Waffe schmieden und führen lehrt, die den Feind des Vaterlandes im Zaume hält. Nicht kleiner ist der moralische Nutzen der Naturlehre: Sie ist die Lehrerin der Klugheit, indem sie die Erfolge mancher Ereignisse voraussehen lehrt; sie predigt Demuth und Bescheidenheit, indem sie uns die Größe und Herrlichkeit der Natur und die Unmöglichkeit sie ganz zu begreifen darstellt; sie zeigt aber auch die Größe des menschlichen Geistes von der schönsten Seite und flößt Vertrauen zu unseren Kräften ein. Man kann mit vollem Rechte von der ganzen Physik das sagen, was ein großer Genius der Deutschen von einem ihrer Theile, der Sternkunde, sagt: Daß sie dem Menschen ein erhabenes Herz gibt, und ein Auge, das über die Erde hinausreicht, und Flügel, die in die Unermeßlichkeit heben, und einen Gott, der nicht endlich, sondern unendlich ist.

Erster Abschnitt.

Von Körpern überhaupt.

Erstes Kapitel.

Allgemeine Eigenschaften der Körper.

15. Wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf die Eigenschaften der Naturdinge richten, so finden wir, daß einige derselben allen Körpern zukommen. Wir nennen sie allgemeine Eigenschaften derselben. Sie sind: Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Beweglichkeit und Trägheit, Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit, Theilbarkeit, Porosität, Molecular-Anziehung und Abstoßung, und Schwere.

16. Alles Körperliche existirt für uns im Raume, ist also ausgedehnt, und hat, weil es in seiner Ausdehnung begrenzt ist, eine gewisse Form der Begrenzung, d. i. eine bestimmte Gestalt oder Figur. Denkt man sich aus dem Raume, den ein Körper einnimmt, die Materie hinweg, so bleibt die Vorstellung des sogenannten leeren Raumes oder des geometrischen Körpers übrig. Was die Geometrie von diesem lehrt, bezieht sich demnach auch auf den Raum eines physischen Körpers nach seiner Größe und Form, und auf die mit diesem Raume zugleich gegebenen Flächen, Linien und Puncte. Der Raum, den ein Körper einnimmt, lediglich in Hinsicht auf seine Größe betrachtet, heißt dessen Rauminhalt oder Volum. Man muß, um es nach den Vorschriften der Geometrie messen und durch eine Zahl ausdrücken zu können, ein bestimmtes Volum als Einheit annehmen.

Die schicklichste Einheit zur Ausmessung der Rauminhalte der Körper gründet sich auf die Einheit, mittelst welcher die Längen gemessen werden, welche eine gerade Linie von festgesetzter Länge ist. Das Quadrat, dessen Seite dieser Längeneinheit gleich ist, dient als Einheit der Flächen, und der Würfel, welcher die Längeneinheit zur Seite hat, als Einheit der Volume. Als Längeneinheit wird, um sowohl allzu große Zahlen, wie auch allzu kleine Brüche zu vermeiden, nicht stets dieselbe Länge angenommen, nur müssen die verschiedenen Längen, deren man sich zu diesem Behufe bedient, in bestimmten Verhältnissen stehen, damit man die Resultate der Messung oder Rechnung nach einer dieser Einheiten, wenn es nöthig ist, in jene umsetzen kann, welche auf der Annahme einer andern Einheit beruhen. Ueberdieß ist die lineare Einheit in verschiedenen Ländern hinsichtlich der Größe, Eintheilung und Benennung der Theile und Vielfachen verschieden.

Wir werden uns im Folgenden größtentheils des sogenannten Wiener Maßes bedienen. Die Grundlage des Wiener Längenmaßes ist die Klafter, sie wird bekanntlich in sechs gleiche Theile, Schuh oder Fuß genannt, eingetheilt. Der Fuß enthält 12 Zoll, der Zoll 12 Linien, die Linie 12 Punkte; häufig aber gibt man nur Decimaltheile der Klafter, des Schuhes, Zolles, der Linie an. Eine Wiener Elle ist = 2,465 Fuß = 29,58 Zoll = 29 Zoll 6,96 Linie. 4000 Wiener Klafter machen eine österreichische Postmeile aus.

Die Grundlage des Flächenmaßes ist die Quadratklafter, d. h. die Fläche eines Quadrates dessen Seite eine Klafter beträgt. Die Quadratklafter faßt daher 6 × 6 = 36 Quadratfuß, der Quadratfuß 12 × 12 = 144 Quadratzoll, der Quadratzoll 144 Quadratlinien. Es kommen daher auf den Quadratfuß 144 × 144 = 20736 Quadratlinien, und auf die Quadratklafter 36 × 144 = 5184 Quadratzoll oder 5184 × 144 = 746496 Quadratlinien. Ein Joch Feldmaß hat 1600 Quadratklafter, oder ist einem Quadrate von 40 Klafter Seite gleich.

Der Würfel, dessen Seite eine Klafter ist, heißt Kubikklafter, und enthält 6^3 = 216 Kubikfuß, der Kubikfuß enthält $(12)^3$ = 1728 Kubikzoll, der Kubikzoll 1728 Kubiklinien. Es kommen also auf den Kubikfuß $(1728)^2$ = 2985984 Kubiklinien, und auf die Kubikklafter 216 × 1728 = 373248 Kubikzolle. Ein Wiener Eimer faßt 1,792 Kubikfuß, und enthalt 40 Maß, jede zu 4 Seitel. Eine Maß enthält demnach 0,0448 Kubikfuß oder 77,4144 Kubikzoll; ein Kubikfuß 22,32 Maß. Ein Wiener Metzen beträgt 1,9471 Kubikfuß.

Nächst der Kenntniß des Wiener Maßes ist noch jene des in neueren Untersuchungen häufig vorkommenden neufranzösischen oder metrischen Maßes unentbehrlich. Als Grundlage desselben dient der Meter (Mètre), dessen Länge dem zehnmillionsten Theile des nördlichen Meridianquadranten der Erde gleichkommt. Der zehnte Theil des Meter heißt Decimeter, der hundertste Centimeter, der tausendste Millimeter. Zehn Meter geben einen Dekameter, zehn Dekameter oder hundert Meter einen Hektometer, zehn Hektometer oder tausend Meter den Kilometer, zehntausend Meter den Myriameter. Bei allen übrigen Einheiten dieses Maßes, welche als selbstständige angesehen und mit eigenen Namen belegt werden, findet dieselbe Bezeichnung des zehnten, hundertsten, tausendsten Theiles durch Vorsetzung der Sylben Deci, Centi, Milli, und der Zehnfachen, Hundertfachen, Tausendfachen durch Vorsetzung der Sylben Deka, Hekto, Kilo Statt. Der Umstand, daß sämmtliche Eintheilungen und Vervielfältigungen dekadisch fortschreiten, erleichtert die Reduction höherer Einheiten auf niedrigere, und umgekehrt dieser auf jene, ungemein. Das Quadrat, dessen Seite 10 Meter faßt, wird unter der Benennung Are als Feldmaß gebraucht. Ein Hektare macht daher 10000 Quadratmeter aus. Der Kubikmeter heißt Stere, der Kubikdecimeter heißt Liter. Ein Kiloliter ist folglich einem Kubikmeter gleich.

Zur Vergleichung des Wiener Maßes mit dem metrischen und umgekehrt dienen folgende Angaben. Es ist 1 Wiener Fuß = 0,3161023 Meter, folglich 1 Wiener Zoll = 0,0263418 Meter, 1 Wiener Linie = 2,195 Millimeter, und umgekehrt 1 Meter = 3,163532 Wien. Fuß = 3 Fuß 1 Zoll 11,549 Linien; 1 Decimeter = 3,79624 Wien. Zoll = 3 Zoll 9,5549 Linien; 1 Centimeter = 4,5555 Wien. Linien; 1 Millimeter = 0,4555 Wien. Linien. Ein Liter beträgt 54,7093 Wien. Kub. Zoll oder 2,827 Wien. Seitel.

Außer den oben genannten Maßen kommt noch das altfranzösische oder Pariser Maß vor. Die Eintheilung der Pariser Toise ist jener der Wiener Klafter ähnlich. Man verwandelt Pariser Toisen,

Fuß, Zoll, Linien in Wiener Klafter, Fuß, Zoll, Linien, wenn man die Anzahl ersterer mit 1,02764 multiplicirt. Umgekehrt wird Wiener Maß durch Multiplication mit 0,973103 in gleichnamiges Pariser Maß umgesetzt. Eine Toise ist = 1,94904 Meter und ein Meter = 0,513074 Toisen. Ein englischer Fuß enthält 0,3048 Meter, ein preußischer Fuß 0,3138 Meter, ein bayerischer Fuß 0,2919 Meter.

Zur Bestimmung linearer Ausdehnungen bedient man sich guter Maßstäbe, die, um die Schärfe der Messung möglichst weit zu treiben, mit einem Nonius oder Vernier versehen sind.

Nonius heißt eine, in gleiche Theile getheilte Linie, die sich an einem Maßstabe verschieben läßt, und dazu dient, kleinere Theile zu messen, als unmittelbar am Maßstabe selbst mit Deutlichkeit ersichtlich gemacht werden könnten. Ist a der Abstand zweier unmittelbar auf einander folgenden Theilstriche des Maßstabes, und dieser Abstand in n gleiche Theile zu theilen, so erhält der Nonius entweder die Länge $(n+1)a$ oder $(n-1)a$, und wird in n gleiche Theile getheilt. Die Länge eines Noniustheiles ist im ersten Falle $= \frac{(n+1)a}{n} = a + \frac{a}{n}$ und im zweiten $= \frac{(n-1)a}{n} = a - \frac{a}{n}$, mithin im ersten Falle um $\frac{a}{n}$, d. h. gerade um den Längentheil, welchen man bei der Messung mit dem Maßstabe noch berücksichtigen will, größer, und im zweiten um eben so viel kleiner, als a, wornach der Abstand zweier beliebigen Theilstriche auf dem Nonius sehr leicht in Theilen des Maßstabes angegeben werden kann. Wird nun der Maßstab sammt Nonius an eine zu messende Linie dergestalt angelegt, daß der Anfangspunct des Maßstabes mit dem einen Grenzpuncte, und einer der beiden äußersten Theilstriche des Nonius mit dem anderen Grenzpuncte dieser Linie zusammenfällt, so hat man nur darauf zu sehen, welcher Theilstrich des Nonius mit einem Theilstriche des Maßstabes so nahe zusammenfällt, daß man den einen als die Verlängerung des anderen betrachten kann. Da man die Entfernung dieses gemeinschaftlichen Theilstriches vom Anfangspuncte des Maßstabes und von jedem der äußersten Theilstriche des Nonius kennt, so kann hieraus die Länge der zu messenden Linie leicht abgeleitet werden, und der Fehler der Messung wird nicht größer seyn als $\frac{a}{2n}$. Man kann sich dabei stets so benehmen, daß dieses Geschäft auf einer einfachen Addition beruht, wie aus folgendem Beispiele zu ersehen ist: Es seyen bei der Messung mit einem Maßstabe, worauf Linien verzeichnet sind, mittelst des Nonius nach Zehntel einer Linie anzugeben, so kann die Länge des Nonius entweder 11 oder 9 Linien betragen, und diese Länge erscheint auf dem Nonius in 10 gleiche Theile getheilt. Der Unterschied zwischen einem Intervall des Maßstabes und des Nonius ist sodann $^1/_{10}$ Linie. Wäre nun, vorausgesetzt, daß die Länge des Nonius = 11 Linien angenommen worden, mittelst eines so eingerichteten Maßstabes die Linie AB (Fig. 1) zu messen, und fände man, daß, wenn man das Ende A mit dem Anfangspuncte des Maßstabes ab zusammenfallen läßt, das andere Ende B zwischen zwei Theilstriche H und K des Maßstabes fällt, so darf man nur den Nonius cd dahin verschieben, daß ein Ende desselben, *gleichviel ob* c oder d, mit B zusammenfällt. Trifft nun der erste, *zweite, dritte* ꝛc. Theilstrich des Nonius, nach der Richtung dc oder *BA gezählt*, in die Verlängerung eines Theilstriches des Maßstabes,

so ist das durch den Nonius zu messende Stück $HB = 1/_{10}, 2/_{10}, 3/_{10}$ rc., also in dem Falle, den die Figur darstellt, $= 2/_{10}$ einer Linie. Wollte man aber den Nonius c d nur 9 Linien lang nehmen, so wäre die Position des mit einem Theilstriche des Maßstabes harmonirenden Striches auf dem Nonius in der Richtung c d oder A B zu zählen, mithin bei der Bezifferung des Nonius die den Anfangspunct der Zählung anzeigende Nulle, nicht wie in der Figur an das Ende d, sondern an c zu setzen. Es ist klar, daß man auf ähnliche Weise auch Stücke von Kreisbögen mittelst Nonien messen kann.

17. Die Erfahrung lehrt, daß die Figuren der Körper höchst mannigfaltig und sehr oft regelmäßig oder wenigstens symmetrisch sind, wie man an allen krystallisirten Körpern des Mineralreiches und an unzähligen Producten der organischen Reiche, am Gewebe feiner Häute, an Schmetterlingsflügeln, Haaren vom Maulwurfe, Reh rc. bemerkt, in welcher Beziehung mikroskopische Beobachtungen besonders lehrreich sind, und häufig da die größte Ordnung erkennen lassen, wo das unbewaffnete Auge keine Spur davon wahrnimmt. Manche Körper (die festen) zeigen eine selbstständige Gestalt, andere hingegen (die flüssigen) richten sich immer nach dem Gefäße, dessen sie zu ihrer Aufnahme bedürfen.

18. Daß die für uns erkennbaren Körper einen Raum erfüllen, lehren uns die Wahrnehmungen, die wir mit Hilfe des Tastsinnes machen. Das Organ erfährt nämlich, indem es in den der Materie eines Körpers angehörenden Raum einzudringen sucht, einen Widerstand, welcher eben die Empfindung vermittelt, die wir bei dem Betasten haben. Diese Erfahrung ist aber nur ein besonderer Fall des allgemeinen Naturgesetzes, daß zwei verschiedene Körper oder Theile der Körper nicht zugleich in einem und demselben Raume vorhanden seyn können, sondern, wenn Materie in einen von Materie bereits erfüllten Raum wirklich eindringt, letztere daraus weichen muß. Unzählige der alltäglichsten Erfahrungen bestätigen die Richtigkeit dieses Gesetzes. Die Eigenschaft der Materie, die durch dasselbe ausgesprochen wird, heißt die Undurchdringlichkeit.

Daher steigt das Wasser in einem Gefäße, wenn man einen Stein hineinwirft; eine Flüssigkeit läßt sich nur in ein anderes Gefäß überfüllen, wenn die Luft daraus entweichen kann; in einem verschlossenen, luftdichten Cylinder läßt sich der Kolben nie bis zum Boden hinabdrücken. Auf der Undurchdringlichkeit beruht der Unterschied zwischen mathematischen und physischen Körpern, die Sperrbarkeit der Materie u. s. w. Jede Erscheinung, welche die Anwesenheit eines Undurchdringlichen in einem Raume beurkundet, beweiset zugleich die Existenz eines materiellen Dinges. Jedoch ist die Undurchdringlichkeit nicht der einzige Beweisgrund, welcher uns für die Materialität zu Gebote steht. In vielen Fällen läßt sich die Undurchdringlichkeit durch unmittelbare Erfahrung gar nicht nachweisen, z. B. an den Himmelskörpern, an deren Materialität wir jedoch, da sie sich durch andere Erscheinungen kund gibt, nicht im Geringsten zweifeln, und welchen wir dem zufolge auch Undurchdringlichkeit zuschreiben.

19. Alle für unsere Sinne wahrnehmbaren Veränderungen in der Natur lassen sich darauf zurückführen, daß Körper oder Körper-

theile ihre **Orte** verlassen und in andere Orte übergehen, d. h. sich **bewegen**. Man rechnet darum die **Beweglichkeit** zu den allgemeinen Eigenschaften der Körper.

20. Da jeder Ort ein absoluter oder relativer ist, je nachdem er auf den absoluten unbegrenzten Raum oder auf einen begrenzten Theil desselben bezogen wird; so kann auch jede Bewegung, wie auch das Verharren in demselben Orte oder die **Ruhe**, als **absolute** oder **relative** betrachtet werden. Erstere ist für uns gar nicht erkennbar; letztere erkennen wir aber aus der Veränderung oder Beibehaltung der Lage gegen ein System von Körpern, das wir für ruhend annehmen. Um die Bewegung eines Körpers vollständig zu übersehen, muß das Verhalten jedes einzelnen Punctes in demselben bekannt seyn. Deßhalb reducirt sich die Untersuchung jeder Bewegung zuletzt auf die Betrachtung der Bewegungen von Puncten. Das sich bewegende oder bewegen sollende Object heißt im Allgemeinen das **Bewegliche**. Jeder sich bewegende Punct beschreibt eine Linie, welche man seine **Bahn** nennt. Die Theile derselben hängen, da das Bewegliche sie stetig durchläuft, ununterbrochen an einander. Je nachdem die Bahn gerade oder krumm ist, heißt die Bewegung **gerad**- oder **krummlinig**. Bei einer geradlinigen Bewegung gibt die Bahn selbst, oder jedes ihrer Stücke nach der Gegend hin betrachtet, gegen welche der sich bewegende Punct schreitet, die **Richtung** der Bewegung an. Erfolgt aber die Bewegung eines Punctes in einer krummen Bahn, so wird die Richtung seiner Bewegung an jeder Stelle der Bahn durch die zu derselben gehörende Tangente angezeigt. Die Bewegung eines Körpers oder eines Systemes mit einander verbundener Körper heißt **progressiv** (fortschreitend), wenn zwei mit einander nicht parallele Linien, welche man mit demselben in Verbindung gesetzt denkt, ihren ursprünglichen Lagen stets parallel bleiben. In diesem Falle beschreiben alle Puncte der Körper völlig gleiche Bahnen, und die Bewegung eines derselben kann die aller übrigen vorstellen. Bleibt während der Bewegung eines Körpers eine gerade mit demselben verbundene Linie oder ein mit demselben verbundener Punct unbeweglich, so sagt man der Körper **drehe** sich um die Gerade oder um den Punct, und jene heißt die **Drehungsaxe**, dieser der **Drehungsmittelpunct**. Die Bewegung eines Körpers um einen Punct läßt sich im Allgemeinen als eine Folge von Axendrehungen betrachten, wobei die Axe in jedem Augenblicke eine andere ist; jede beliebige Bewegung aber ist entweder progressiv oder drehend, oder eine Zusammensetzung aus beiden.

21. Zu jeder Bewegung wird **Zeit** erfordert, denn ein sich bewegender Punct kann nicht zugleich, sondern nur nach einander, in zwei verschiedenen Puncten seiner Bahn erscheinen. Die Zeit ist eine stetige Größe, mithin in das Unendliche theilbar. Wir sagen, ein Zeittheil sey einem andern gleich, wenn eine während des ersten vollzogene Bewegung während des andern genau wiederholt werden kann; findet das Gegentheil Statt, so heißen die Zeittheile ungleich. Durch unmittelbares Aufeinanderfolgen von zwei, drei, vier rc. gleichen Zei-

ten entsteht eine Zeit, welche doppelt, dreimal, viermal ꝛc. so groß ist, als jede einzelne derselben. Deßhalb ist die Zeit eine meßbare Größe. Wird eine bestimmte Zeit als Einheit angenommen, so läßt sich jede andere Zeit durch die Zahl ausdrücken, welche das Verhältniß derselben zu der gewählten Einheit angibt. Der Zeitmessung legen wir eine später näher zu bestimmende Zeit, welche wir Tag nennen, zum Grunde. Der Tag wird in 24 gleiche Theile, nämlich Stunden, die Stunde in 60 Minuten, die Minute in 60 Secunden u. s. w. getheilt. Die zwischen der Länge des zurückgelegten Weges und zwischen der Zeit bestehende Beziehung drückt das Gesetz der Bewegung aus, und ist von der Gestalt der Bahn unabhängig.

22. Weder der Uebergang von Ruhe in Bewegung, noch jener von der Bewegung in Ruhe, oder von einer Bewegung in eine andere kann von einem Körper selbst hervorgebracht werden, sondern dazu ist immer eine besondere von jenem Körper verschiedene Ursache nothwendig. Man bezeichnet das Unvermögen eines Körpers, seinen Zustand, er mag nun in Ruhe oder in Bewegung bestehen, selbstthätig zu ändern, mit der Benennung Trägheit. Da die Trägheit uns bei jeder Bewegung der materiellen Dinge vor Augen gestellt wird, ja der Hergang der Bewegung davon wesentlich abhängt, so müssen wir die Trägheit als eine mit dem Wesen der Materie selbst innigst verknüpfte Eigenschaft, mithin für eine allgemeine Eigenschaft der Körper gelten lassen. Dem Gedankendinge, welches der mathematische Physiker, den Fußstapfen des Geometers folgend, bei seinen abstracten Betrachtungen einen materiellen Punct nennt, legt er weder Ausdehnung noch Undurchdringlichkeit, wohl aber Trägheit bei.

Daß eine Kugel auf ebenem Boden desto weiter fortlauft, je glatter dieser Boden ist; daß man sich, wenn man von einer Anhöhe herabgelaufen ist, in der Ebene nur schwer zurückhält u. dgl. m., rührt von der Trägheit her. Den besten empirischen Beweis für diese Eigenschaft liefert die durch Jahrhunderte unverändert fortdauernde Bewegung der Himmelskörper.

23. Die Ursache der Aenderung des Zustandes eines Körpers in Hinsicht auf Bewegung und Ruhe erscheint entweder activ, als bewegende Kraft oder passiv als Hinderniß. Kraft nennt man dasjenige, was einen Körper bewegt oder zu bewegen sucht. Eine Kraft wird immer als etwas von dem betreffenden Körper Verschiedenes gedacht, ohne darum immer etwas von Außen auf ihn Wirkendes zu seyn. Die sogenannten willkürlichen Bewegungen der Thiere, viele Bewegungen der Pflanzen erfolgen durch etwas in ihrem Organismus Befindliches, das wir aber immer von dem Trägen, welches bewegt wird, als verschieden denken. Ueber die Beschaffenheit der Kräfte können wir uns nur durch die Betrachtung ihrer Wirkungen eine Vorstellung verschaffen. Jede Kraft wirkt unmittelbar nur auf Einen Punct, den sogenannten Angriffspunct, den sie nach einer gewissen geraden Linie hin, welche die Richtung der Kraft anzeigt, mit einer gewissen Stärke oder Energie, welche uns von der Größe oder In-

tensität der Kraft einen Begriff geben kann, in Bewegung zu setzen strebt. Ein Hinderniß hat stets dieselbe Wirkung zur Folge, wie eine der Bewegung entgegen wirkende Kraft, und kann daher in Gedanken gegen eine solche vertauscht werden.

24. Alle bewegenden Kräfte, welche in der Natur thätig sind, bringen ihre Wirkung nur während einer gewissen Zeit hervor, jedoch ist diese in manchen Fällen so klein, daß sie sich unserer Wahrnehmung gänzlich entzieht. Dieser Umstand veranlaßt uns zweierlei Arten bewegender Kräfte zu unterscheiden, nämlich solche, die nur einen Augenblick wirken, hernach aber das Bewegliche ganz sich selbst überlassen, momentane Kräfte, und andere, deren Thätigkeit durch eine angebbare Zeit ununterbrochen fortdauert, continuirliche Kräfte. Die Aeußerung einer momentanen Kraft heißt auch Stoß, die einer continuirlichen Druck oder Zug.

25. Die Größen gleichartiger Kräfte lassen sich durch bloße Betrachtung der von ihnen ausgehenden Anregung zur Bewegung mit einander vergleichen, ohne daß es nöthig ist, die Bewegung selbst, die sie hervorzubringen vermögen, in Erwägung zu ziehen. Zwei Kräfte, die auf denselben Punct nach gerade entgegengesetzten Richtungen wirkend, sich gegenseitig aufheben, oder, wie man zu sagen pflegt, einander das Gleichgewicht halten, gelten einander offenbar gleich, und es müssen ihnen daher auch gleiche Größen zugeschrieben werden. Eben so natürlich erscheint die Annahme, daß aus der vereinten Thätigkeit zweier, dreier u. s. w. nach derselben Richtung wirkenden gleichen Kräfte eine doppelte, dreifache u. s. w. Kraft entspringe, und überhaupt daß die aus der Vereinigung beliebiger, nach derselben Richtung thätigen gleichartigen Kräfte hervorgehende Kraft als die Summe der einzelnen Kräfte betrachtet werde. Diese Annahme im Auge haltend, wird man leicht die Intensität jeder vorhandenen momentanen oder continuirlichen Kraft durch eine Zahl vorstellen können, sobald man die Stärke einer festgesetzten Kraft jeder Art als Einheit gewählt, und durch die Zahl 1 bezeichnet hat. Es geben dann zwei Kräfte, deren jede = 1 ist, nach einerlei Richtung angebracht, den Effect der Kraft 2, drei solcher Kräfte stellen den Effect der Kraft 3 dar u. s. w., so wie jeder von zwei oder drei gleichen Kräften u. s. w. die zusammen der Kraft 1 gleich gelten, der Zahlwerth $1/2$ oder $1/3$ u. s. w. gehört.

26. Wird ein in Bewegung gesetzter materieller Punct nicht weiter von einer Kraft getrieben, auch durch kein Hinderniß gehemmt, so kann an seiner Bewegung durchaus keine Aenderung vor sich gehen. Er wird daher einer geraden Linie, welche die Richtung seiner Bewegung ist, folgen, und binnen gleichen Zeiten gleiche Wege zurücklegen. Eine Bewegung, bei welcher binnen gleichen Zeiten gleiche Wege beschrieben werden, heißt eine gleichförmige, jene, bei welcher dieß nicht der Fall ist, eine ungleichförmige. Eine momentane Kraft erzeugt daher eine gleichförmige Bewegung.

Das Stattfinden einer geradlinigen gleichförmigen Bewegung eines Körpers ist daher nicht minder ein Kennzeichen, daß derselbe der Einwir-

kung keiner Kraft unterliegt, als die Beibehaltung der Ruhe; nur deutet die vorhandene Bewegung auf die frühere Einwirkung einer Kraft hin. Aus dem Stattfinden einer krummlinigen Bewegung läßt sich entweder auf das Vorhandenseyn einer Kraft, die das Bewegliche in jedem Augenblicke von seiner ihm in einem früheren Augenblicke ertheilten, und der Trägheit zufolge beizubehaltenden Richtung ablenkt, oder auf die Anwesenheit eines Hindernisses schließen, welches ihm nicht gestattet, einerlei Richtung zu folgen. Auf gleiche Weise gibt die Ungleichförmigkeit einer Bewegung die fortwährende Thätigkeit einer Kraft oder den ununterbrochenen Einfluß eines Hindernisses zu erkennen.

27. Die gleichförmige Bewegung ist die einfachste, welche wir uns vorzustellen vermögen. Aus dem Begriffe derselben folgt, daß, wenn S, s Wege bedeuten, welche während der Zeiten T, t zurückgelegt werden, diese Wege sich verhalten wie die entsprechenden Zeiten oder daß die Proportion $S : s = T : t$ Statt findet. Diese gibt $\frac{S}{T} = \frac{s}{t}$, es ist also der Quotient, den der Zahlwerth eines Weges durch jenen der zugehörigen Zeit getheilt gibt, während der Bewegung unveränderlich. Dieser Quotient, durch dessen Größe sich verschiedene gleichförmige Bewegungen von einander unterscheiden, entspricht der **Geschwindigkeit** der Bewegung, auf welche er sich bezieht. Wir nennen nämlich eine Bewegung um so geschwinder, je größer der binnen einer bestimmten Zeit zurückgelegte Weg, oder je kleiner die zur Zurücklegung eines bestimmten Weges erforderliche Zeit ist. Weil die Einheit der Geschwindigkeiten willkürlich ist, kann man obigen Quotienten selbst als den Ausdruck der Geschwindigkeit gelten lassen, mithin die Geschwindigkeit C einer gleichförmigen Bewegung, bei der während der Zeit T der Weg S beschrieben wird, durch die Formel $C = \frac{S}{T}$ darstellen, aus welcher $S = CT$ und $T = \frac{S}{C}$ folgt. Da für $T = 1$, $C = S$ wird, so ist der numerische Werth der Geschwindigkeit jenem des während der Zeit 1 zurückgelegten Weges gleich, und da, wenn überdieß $S = 1$, auch $C = 1$ wird, so ist die Einheit der Geschwindigkeiten jene, mit welcher die Längeneinheit während der Zeiteinheit durchlaufen wird. Dividirt man bei einer ungleichförmigen Bewegung den Weg durch die zugehörige Zeit, so erhält man die Geschwindigkeit, mit welcher derselbe Weg binnen derselben Zeit gleichförmig zurückgelegt werden könnte. Man nennt sie die genannter Zeit entsprechende **mittlere** Geschwindigkeit der ungleichförmigen Bewegung.

Als Zeiteinheit bei Angaben von Geschwindigkeiten dient in der Regel die Secunde; hiernach erhalten die abgekürzten Angaben: die Geschwindigkeit eines Fußgängers im mäßigen Schritte sey 5 Fuß, eines schnell laufenden Mannes 20 Fuß, eines Pferdes im Trabe 10 Fuß, im Galop 25 Fuß, eines Dampfwagens im Mittel 30 Fuß, einer Flintenkugel 1200 Fuß, einer zwölfpfündigen Kanonenkugel 800 Fuß u. dgl. ihre bestimmte Bedeutung.

28. Daß dieselbe momentane Kraft demselben Beweglichen immer dieselbe Geschwindigkeit ertheilt, wenn sie es von der Ruhe in Bewegung

bringt, ist für sich klar; die Erfahrung lehrt aber, daß selbst der Zuwachs an Geschwindigkeit, den eine Kraft einem schon in Bewegung begriffenen Beweglichen zu Theil werden läßt, jener Geschwindigkeit gleicht, welche dieselbe Kraft dem ruhenden Beweglichen zu ertheilen vermag. Verschiedene momentane Kräfte ertheilen demselben Beweglichen verschiedene Geschwindigkeiten, und zwar sind der Erfahrung zu Folge die Geschwindigkeiten den auf oben (25) erklärte Art gemessenen Kräften proportionirt. Es erzeugt nämlich die doppelte Kraft, bei demselben Beweglichen, die doppelte Geschwindigkeit, die dreifache Kraft bringt die dreifache Geschwindigkeit hervor u. s. w. Nennen wir also die Kräfte, welche zu verschiedenen Malen auf dasselbe Bewegliche wirken, P und p, und die von ihnen erzeugten Geschwindigkeiten C und c, so besteht die Proportion $P : p = C : c$.

29. Dieselbe momentane Kraft ertheilt, wie die Erfahrung lehrt, verschiedenen frei beweglichen Körpern verschiedene Geschwindigkeiten; es hängt also die Geschwindigkeit, mit welcher ein Bewegliches von einer solchen Kraft fortgetrieben wird, nicht allein von der Intensität der Kraft, sondern auch von der Beschaffenheit des Beweglichen ab. Folgende Betrachtung führt zur Erkenntniß des letzteren Einflusses: Zwei vollkommen identische Körper erhalten durch gleiche Kräfte gleiche Geschwindigkeiten; setzt man beide Körper mit einander in eine so feste Verbindung, daß sie wie Ein Körper zu betrachten sind, und läßt man darauf die Summe der Kräfte, d. h. das Doppelte jeder einzelnen, wirken, so bekommt der Erfahrung zu Folge das Ganze dieselbe Geschwindigkeit, welche früher die einzelnen Kräfte den getrennten Körpern ertheilten. Es zeigt dieß deutlich, daß jeder der beiden Theile des zusammengesetzten Körpers auch in der Zusammensetzung seine Trägheit behauptet, mithin eigens bewegt werden muß. Vollkommen identischen Körpern müssen wir wohl gleiche Mengen des Gehaltes an Materie, und der Verbindung beider die doppelte materielle Quantität zuschreiben. Man nennt die Quantität der Materie, die man an einem Körper wahrnimmt, seine Masse. Es spricht daher die so eben angeführte Erfahrung den Satz aus, daß die doppelte Masse zur Erlangung einer gewissen Geschwindigkeit das Doppelte der Kraft fordert, die der einfachen Masse dieselbe Geschwindigkeit zu ertheilen vermag. Eben so lehrt die Erfahrung, daß, um eine dreifache Masse auf gleiche Weise zu bewegen, die dreifache Kraft nöthig ist u s. w., ja sogar im Allgemeinen, daß, sobald zwei Körper, sie mögen in ihren übrigen materiellen Qualitäten harmoniren oder nicht, durch zwei Kräfte gleiche Geschwindigkeiten empfangen, auch die Vereinigung der Körper von der Summe der Kräfte getrieben, die nämliche Geschwindigkeit erhält. Es ist kein Grund vorhanden, wenn es sich um die Trägheit eines Körpers handelt, auf seine sonstigen Eigenschaften zu sehen. Man schreibt daher, im Einklange mit dem was die Betrachtung gleichartiger Körper gelehrt hat, zweien wie immer beschaffenen Körpern, denen gleiche momentane Kräfte gleiche Geschwindigkeiten ertheilen, auch gleiche Massen zu, ferner sieht man die Masse eines Körpers als das Doppelte,

Dreifache u. s. w. der Masse eines andern an, wenn zur Erlangung derselben Geschwindigkeit erstere das Doppelte, Dreifache u. s. w. der Kraft in Anspruch nimmt. Sind also M, m die Massen zweier Körper, P, p zwei Kräfte, die ihnen einerlei Geschwindigkeiten ertheilen, so besteht die Proportion $M : m = P : p$. Sie vertritt die Stelle der Definition dessen, was wir Masse nennen, da sich offenbar von Menge der Materie gar nicht mit Bestimmtheit reden läßt, wenn man nicht festgesetzt hat, wornach diese Menge beurtheilt werden soll. Nimmt man eine beliebige Masse als Einheit an, so kann man mittelst dieses Satzes jede vorhandene Masse damit vergleichen und durch eine Zahl ausdrücken.

30. Es seyen nun P, p momentane Kräfte, die auf die freibeweglichen Massen M, m einwirken, und denselben beziehungsweise die Geschwindigkeiten C, c ertheilen. Nennt man Q die Kraft, welche der Masse M die Geschwindigkeit c zu geben vermag, so ist

nach 28: $P : Q = C : c$

und nach 29: $Q : p = M : m$

mithin ist $P : p = MC : mc$.

Es verhalten sich sonach zwei momentane Kräfte wie die Producte aus den Massen, worauf sie wirken, mit den Geschwindigkeiten, die sie hervorbringen. Wählt man jene Kraft zur Einheit, die der Einheit der Massen die Geschwindigkeit 1 beibringt, so hat man, wenn man $m = 1$, $c = 1$ setzt, auch $p = 1$, mithin $P = MC$. Bei dieser Wahl der Einheiten wird also jede momentane Kraft durch das Product aus der bewegten Masse mit der erzeugten Geschwindigkeit gemessen. Man nennt dieses Product auch die Größe der Bewegung. Bewegt eine und dieselbe Kraft die Masse M mit der Geschwindigkeit C, und die Masse M′ mit der Geschwindigkeit C′, so besteht die Gleichung $MC = M'C'$, woraus $M : M' = C' : C$ folgt. Wirkt also dieselbe Kraft nach einander auf verschiedene Massen, so stehen die Geschwindigkeiten in dem verkehrten Verhältnisse der Massen.

31. Wirkt eine continuirliche Kraft während einer gewissen Zeit auf einen völlig freien materiellen Punct oder Körper, und hört sodann zu wirken auf, so daß das Bewegliche nun lediglich seiner Trägheit überlassen bleibt, so wird dasselbe nach einer gewissen Richtung mit einer der vorausgegangenen Einwirkung der Kraft entsprechenden Geschwindigkeit in gleichförmiger Bewegung fortschreiten. Der Erfolg wird sonach ganz derselbe seyn, als ob im Augenblicke des Erlöschens der continuirlichen Kraft eine momentane mit einer angemessenen Intensität auf das Bewegliche gewirkt hätte. Man kann nun während der Bewegung eines Körpers durch eine continuirliche Kraft, die ihm in Folge der Trägheit in jedem Augenblicke eigene Fähigkeit, binnen einer gewissen Zeit einen gewissen Weg zu beschreiben, ins Auge fassen, und dem gemäß ihm eine bestimmte Geschwindigkeit beilegen, welche sich kund geben würde, wenn die Wirksamkeit der Kraft in dem genannten Augenblicke aufhörte. Diese Geschwindigkeit ist es, welche man die dem erwähnten Augenblicke entsprechende Ge-

schwindigkeit des Beweglichen nennt. Sie wird in dem besonderen Falle, wenn das Bewegliche ursprünglich in Ruhe war, und die continuirliche Kraft es stets nach derselben Richtung treibt, fortwährend und stetig vergrößert, so nämlich, daß sie, von den kleinsten Werthen angefangen, durch alle Abstufungen der Größe fortwächst. Ist aber das Bewegliche bereits im Zustande der Bewegung, und wirkt die continuirliche Kraft seiner Richtung gerade entgegen, so wird die Geschwindigkeit fortwährend verkleinert, und die Richtung der Bewegung geht, wenn die Geschwindigkeit bis auf Null herabgebracht worden ist, in die entgegengesetzte über. Eine Bewegung, bei der die Geschwindigkeit wächst, heißt eine beschleunigte, jene aber, bei der die Geschwindigkeit abnimmt, eine verzögerte.

32. Eine continuirliche Kraft wirkt entweder stets mit derselben Stärke, und heißt dann eine beständige, oder ihre Intensität unterliegt Veränderungen, und sie heißt eine veränderliche Kraft. Wenn ein völlig freies und ursprünglich in dem Zustande der Ruhe befindliches Bewegliches durch eine beständige continuirliche Kraft getrieben wird, so ist die erzeugte Geschwindigkeit stets der Zeit, binnen welcher sie hervorgebracht wurde, proportionirt. Denn hat die Kraft während einer bestimmten Zeit τ die Geschwindigkeit γ erzeugt, so wird, wenn die Wirksamkeit der Kraft noch durch einen gleichen Zeitraum τ fortwährt, zu der bereits vorhandenen Geschwindigkeit γ noch die neuerzeugte Geschwindigkeit γ hinzukommen, und somit die Geschwindigkeit nach Verlauf der Zeit 2τ, vom Anfange der Bewegung an gezählt, $= 2\gamma$ werden. Eben so sieht man, daß am Ende der Zeit 3τ die Geschwindigkeit $2\gamma + \gamma = 3\gamma$ vorhanden seyn werde u. s. w. Sind also c, c' die Geschwindigkeiten, welche das Bewegliche während der Zeiten t, t' erlangt, so ist $c : c' = t : t'$. Hat das Bewegliche in dem Augenblicke, in welchem die Wirkung der continuirlichen Kraft beginnt, bereits eine Geschwindigkeit, und stimmt die Richtung der Kraft mit jener dieser Geschwindigkeit überein, so wird diese während einer gegebenen Zeit um den ganzen Betrag derjenigen vergrößert, welche die Kraft für sich allein hervorzubringen vermag; wirkt aber die Kraft nach gerade entgegengesetzter Richtung, so wird die ursprüngliche Geschwindigkeit des Beweglichen um eben so viel verkleinert. Die Zunahme der Geschwindigkeit im ersten und die Abnahme der Geschwindigkeit im zweiten Falle ist also der Zeit proportionirt, und die Bewegung heißt in jenem eine gleichförmig beschleunigte, in diesem eine gleichförmig verzögerte.

33. Die Geschwindigkeit, welche eine beständige continuirliche Kraft einem Körper während einer festgesetzten Zeit, z. B. während der Zeiteinheit, ertheilt, hängt von der Intensität der Kraft und von der Masse des Körpers ab. Durch Schlüsse, die den in 28 — 30 durchgeführten ähnlich sind, läßt sich zeigen, daß zwei continuirliche Kräfte P, p, die den Massen M, m binnen der Zeit 1 die Geschwindigkeiten G, g ertheilen, sich verhalten wie die Producte aus den Massen in die Geschwindigkeiten, so daß also $P : p = MG : mg$ ist.

Wählt man jene beständige Kraft zur Einheit, die der Masse 1 binnen der Zeit 1 die Geschwindigkeit 1 beibringt, so ist, wenn man $m = 1$ und $g = 1$ setzt, auch $p = 1$, und daher $P = MG$. Die der Zeiteinheit entsprechende Geschwindigkeit G, die nach der so eben gefundenen Formel auch die Kraft vorstellt, die auf die Masseneinheit kommt, wenn jeder ihrer Theile so getrieben wird, wie dieß bei der Masse M unter dem Einflusse der Kraft P der Fall ist, heißt die dieser Zusammenstellung von Kraft und Masse entsprechende Acceleration oder Beschleunigung. Erzeugt die auf die Masse M wirkende beständige Kraft P während der Zeit T die Geschwindigkeit C, so ist (32) $C : G = T : 1$, mithin $G = \frac{C}{T}$, daher auch $P = \frac{MC}{T}$. Dieselbe Formel kann sogar gebraucht werden, um die Intensität einer veränderlichen Kraft in irgend einem Augenblicke darzustellen, wenn man unter C die Geschwindigkeit versteht, welche diese Kraft binnen der Zeit T erzeugen würde, wenn sie mit der Stärke, die sie im erwähnten Augenblicke hat, ungeändert fortwirkte.

Hieraus sieht man, daß eine momentane Kraft, die einem Beweglichen während einer unmeßbar kleinen Zeit eine meßbare Geschwindigkeit ertheilt, gegen eine continuirliche Kraft, die zur Hervorbringung dieses Effectes einer Zeit von merklicher Dauer bedarf, nur als unendlich groß betrachtet werden kann. Stoß und Druck stellen sich uns somit als heterogene Kräfte dar, zwischen deren Größen keine numerische Vergleichung Statt findet.

34. Ein und derselbe Körper enthält nicht unter allen Umständen bei demselben Volum gleich viel Masse; denn die Erfahrung lehrt, daß sich der Rauminhalt eines Körpers vergrößern und verkleinern läßt, d. h. daß der Körper ausdehnbar und zusammendrückbar ist. Die Ausdehnung oder Zusammendrückung kann durch mechanische, von Außen angebrachte Kräfte bewirkt werden; das kräftigste Mittel, das Volum eines Körpers zu ändern, ist aber Erwärmung und Erkältung. Durch erstere wird es vergrößert, durch letztere verkleinert. Wenn einige Körper, z. B. Thon, Leder, sich in der Hitze zusammenziehen, statt sich auszudehnen, so kommt dieses auf Rechnung verflüchtigter oder zerstörter Stoffe oder des aufgehobenen Gefüges, und kann deßhalb nicht als der Regel widersprechend angesehen werden.

Befestiget man einen dünnen Stab von Holz, Metall oder einem anderen Stoffe an einem Ende und bringt am anderen ein Gewicht an, welches ihn zu verlängern sucht; so bemerkt man auch eine entsprechende Verlängerung des Stabes. Ein Zwirnfaden, ein Bleidraht, ein Streifen Kautschuk u. s. w. läßt sich schon durch den Zug mit der Hand verlängern. Dabei wird ein solcher Körper allerdings auch dünner, jedoch in einem geringeren Verhältnisse, als er länger geworden ist, so daß also eine wirkliche Vergrößerung des Volums eingetreten ist. Wird ein solcher Körper am unteren Ende aufgestemmt und von oben mit Gewichten belastet, so wird er zusammengedrückt und sein Volum vermindert. Eine metallene Kugel, die genau durch einen Ring geht, so lange sie kalt ist, bleibt in demselben stecken, wenn man sie ohne den Ring erhitzt; füllt man ein Gefäß, das mit einer verhältnißmäßig

engen Röhre verbunden ist, mit einer Flüssigkeit so weit an, daß dieselbe in die Röhre reicht, so sieht man sie steigen, wenn Erwärmung eintritt; eine schlaffe Blase schwillt an, wenn sie luftdicht zugebunden ist und einem warmen Ofen genähert wird. Die Zunahme des Rauminhaltes beträgt in der Regel desto mehr, je weiter ein Körper erhitzt wird; mit der Rückkehr der vorigen Wärme stellt sich in der Regel wieder das vorige Volum ein.

35. Die Vergrößerung des Rauminhaltes eines Körpers durch Erwärmung steht mit der Größe dieser Erwärmung in so genauer Verbindung, daß man von jener auf diese schließen kann, und es ist die Größe der Ausdehnung eines Körpers der sicherste Maßstab für die Größe der Erwärmung oder Temperatur. Das Instrument, welches zum Messen der Temperatur dient, und auf der Ausdehnung der Körper durch die Wärme beruht, heißt Thermometer. Man bedient sich heut zu Tage drei verschiedener Arten der Thermometer, nämlich der Quecksilber-, Weingeist- und der Luftthermometer. Hier soll nur von den zwei ersten die Rede seyn.

Die Empfindung, welche ein warmer Körper in uns erregt, und die man vielleicht für den einfachsten und besten Maßstab der Wärme zu halten geneigt seyn dürfte, taugt dazu nicht, weil sie nicht allein von der Temperatur, sondern auch von der Individualität, Gewohnheit, vom Alter, vom vorhergehenden Zustande der Wärme des Empfindenden ꝛc. abhängt. Warm erscheint uns ein Körper, der uns Wärme im objectiven Sinne zuführt, kalt derjenige, der sie uns entreißt; darum kann uns derselbe Körper bald warm, bald kalt erscheinen. Taucht man die Hand in kaltes Wasser, so erscheint uns dieses Anfangs kälter, als nach einiger Zeit; taucht man sie in warmes, so finden wir auch dieses Anfangs am wärmsten, weil uns Anfangs vom kalten Wasser am meisten Wärme entrissen, vom warmen aber am meisten zugeführt wird. Taucht man eine Hand in kaltes, die andere in warmes Wasser, hierauf aber beide in laues; so hält man letzteres nach der Empfindung an der einen Hand für warm, an der anderen für kalt.

36. Das Quecksilberthermometer besteht aus einer gläsernen, engen, wohl kalibrirten Röhre (Fig. 2), an deren einem Ende ein ihrer Weite angemessenes, meistens kugelförmiges Gefäß angeblasen ist. Dieses wird bis zu einer bestimmten Höhe mit reinem trockenen Quecksilber gefüllt, und alle Luft, die theils im Quecksilber selbst, theils zwischen dem Glase und dem Quecksilber enthalten ist, durch Kochen ausgetrieben. Meistens vertreibt man auch die Luft, welche sich oberhalb des Quecksilbers befindet, und schmilzt dann die Röhre zu; nur selten läßt man sie offen. Ein so weit fertiges Thermometer wird hierauf mit einer Scale versehen. Zu letzterem Zwecke bestimmt man zwei Puncte an der Röhre; den einen (Eispunct) dadurch, daß man die Röhre in aufthauendes Eis senkt, so lange darin läßt, bis sich die Länge der Quecksilbersäule nicht mehr ändert, und dann den Punct am Glase anmerkt, der ihrem Ende entspricht; den andern (Siedpunct), indem man sie in reines, siedendes Wasser hält und eben so verfährt. Die Folge wird lehren, mit welchen Vorsichten letzteres zu geschehen habe. Den Abstand dieser zwei Puncte (Fundamentalabstand) theilt

man in gleiche Theile oder Grade, und zwar in 80 nach Réaumur, in 100 nach Celsius, in 180 nach Fahrenheit, und bezeichnet in den ersten zwei Fällen den Eispunct mit 0, im dritten mit 32, so daß dem Siedpuncte bei der Réaumur'schen Eintheilung die Zahl 80, bei der Celsischen 100, bei der Fahrenheit'schen $180 + 32 = 212$ entspricht. Man kann diese Eintheilung in Grade auch noch über dem Siedpuncte und unter 0 fortsetzen, und die Grade unter 0 negative (Kältegrade) nennen, zum Unterschiede von denen über 0, welche man positive (Wärmegrade) heißt. Es gibt auch Thermometer mit ungleich großen Graden. Gay-Lussac lehrte sie zuerst aus ungleich weiten Röhren so verfertigen, daß zwischen je zwei auf einander folgenden Theilstrichen gleiche Theile des Rauminhaltes der Röhre liegen. Man kann gleich an demselben Thermometer mehrere Eintheilungen anbringen, und auch die Grade einer Eintheilung in die einer anderen durch eine einfache Rechnung verwandeln.

Nennt man z. B. eine beliebige Anzahl Grade nach Réaumur R, die ihr entsprechende Anzahl nach Celsius C, nach Fahrenheit F, so ist:

$$\tfrac{4}{9}(F - 32) = R, \quad \tfrac{9}{4}R + 32 = F$$
$$\tfrac{4}{5}C = R, \quad \tfrac{5}{4}R = C$$
$$\tfrac{5}{9}(F - 32) = C, \quad \tfrac{9}{5}C + 32 = F.$$

Nach Delisle's nun wohl veralteter Thermometerscale wird der Fundamentalabstand in 150 gleiche Theile getheilt, der Siedpunct mit 0, der Eispunct mit 150 bezeichnet. Newton hat als fixe Puncte seines Leinöhlthermometers den Schmelzpunct des Eises und die Wärme seines Körpers angenommen und den Abstand in 12 gleiche Theile getheilt. Erst nach dem Jahre 1714 wurde man über die Wahl der fixen Puncte einig, nicht aber über die Eintheilung des Fundamentalabstandes, zu welcher viele Vorschläge gemacht wurden. Das erste Thermometer war ein Luftthermometer, Drebbel, ein holländischer Landmann, soll es im Jahre 1630 erfunden haben.

37. Sollen zwei Quecksilberthermometer übereinstimmend seyn, d. h. sollen sie unter einerlei Umständen übereinstimmende Grade angeben; so müssen sie nicht allein genau auf dieselbe Art in ihren wesentlichen Puncten verfertiget werden, sondern es muß auch das angewendete Quecksilber von gleicher Natur und Reinheit seyn, die Temperaturen des aufthauenden Eises und des siedenden Wassers müssen beständig dieselben bleiben, und sowohl der Eis- als der Siedpunct unverändert an dieselbe Stelle fallen. Der Erfahrung gemäß ist die Temperatur des reinen zerstoßenen Eises oder des Schnees, von dem Augenblicke an, wo die Schmelzung sichtbar zu werden anfängt, bis dahin, wo sie mit Wasser durchzogen sind, vollkommen constant und an allen Orten und zu allen Zeiten dieselbe; die genaue Bestimmung des Eispunctes unterliegt daher keiner Schwierigkeit. Die Hitze des siedenden reinen Wassers hängt aber von der Natur des Gefäßes, worin es kocht, vom Drucke der Luft und von der Tiefe der siedenden Schichte unter der Oberfläche des Wassers ab, und es muß darum bei der Bestimmung des Siedpunctes auf jeden dieser Umstände die gehörige Rücksicht genommen werden. Es ist sogar nicht gleichgiltig, ob man die Fundamentalpuncte bald nachdem ein Thermometer gefüllt und luftleer

gemacht worden, oder einige Monate später bestimmt, und es soll immer letzteres Statt finden, wenn man vermeiden will, daß nicht der Eispunct mit der Zeit eine kleine Verrückung erleide und dem Siedpuncte näher rücke.

Man hat erfahren, daß Wasser bei übrigens gleichen Umständen nur in allen metallenen Gefäßen bei demselben Hitzegrade siedet, in gläsernen oder thönernen Gefäßen aber dazu eine höhere, und nicht in allen Gefäßen gleiche Temperatur braucht; deßhalb soll die Bestimmung des Siedpunctes stets in einem Metallgefäße geschehen. Jedoch haben selbst in einem solchen Gefäße nicht alle Schichten des siedenden Wassers einerlei Hitze, sondern diese ist an der obersten Schichte am geringsten, und wächst von oben nach unten so, daß in einem nur etwas tiefen Gefäße zwischen der Hitze der obersten und untersten Schichte ein sehr bedeutender Unterschied herrscht. Die Temperatur der obersten Wasserschichte hat auch der Dampf über dem Wasser, vorausgesetzt, daß er sich reichlich entwickelt und nicht durch eine zu große Oeffnung entweichen kann. Darum bestimmt man den Siedpunct am besten im Dampfe, unmittelbar über der Fläche des siedenden Wassers. Ist das Kochgefäß so eingerichtet, daß der Dampf erst abwärts steigen muß, um ins Freie gelangen zu können, so nimmt selbst im empfindlichsten Instrumente das Quecksilber einen vollkommen stationären Stand an, und läßt über den wahren Ort des Siedpunctes gar keine Unsicherheit übrig. Aber sowohl der Wasserdampf als die oberste siedende Wasserschichte haben nur bei demselben Luftdrucke dieselbe Temperatur, und werden desto heißer, je größer der Luftdruck ist. Die Folge wird lehren, daß man diesen Druck durch den Stand des Barometers erkennt. Deßhalb soll man den Siedpunct entweder nur bei einem bestimmten Barometerstande, nämlich bei dem von 28 Pariser Zoll bestimmen, oder den bei einem anderen Stande gefundenen auf jenen reduciren. So lange das Barometer über 26 Pariser Zoll steht, findet man den Fundamentalabstand für jede Pariser Linie, um welche der Luftdruck kleiner als 28 Pariser Zoll ist, um 0,0007 zu klein, und für jede Linie über 28 Pariser Zoll um eben so viel zu groß. Beim Füllen eines Thermometers wird nothwendig der Quecksilberbehälter einer hohen Temperatur ausgesetzt und bedeutend erweitert. Der Erfahrung zu Folge erlangt er nicht gleich, nachdem er wieder erkaltet ist, genau seine vorige Größe, und das Quecksilber steht darum verhältnißmäßig zu tief. Beim Luftleermachen wird derselbe aber durch den äußeren Luftdruck zusammengepreßt und dadurch wieder verengert. Meistens wird durch diese Verkleinerung die von der starken Erhitzung herrührende Vergrößerung compensirt. Bestimmt man daher den Eispunct eines Thermometers bald nachdem dieses gefüllt und luftleer gemacht worden, so fällt er in der That auf seine gehörige Stelle. Allein nach einiger Zeit (nach etwa vier Monaten) verliert sich die von der Erhitzung herrührende Vergrößerung des Quecksilberbehälters, während die vom Luftdrucke herrührende Verkleinerung desselben fortdauert, und so kommt es, daß nach dieser Zeit der Eispunct dem Siedpuncte näher gerückt erscheint. Wenn man den Eispunct erst wenigstens vier Monate nach dem Füllen des Thermometers bestimmt, so hat man eine solche Verrückung des Eispunctes nicht mehr zu befürchten; aber wenn das Instrument einer starken Erhitzung (bis auf etwa 300°) ausgesetzt wird, tritt eine ähnliche Vergrößerung des Quecksilberbehälters wie beim ersten Füllen neuerdings ein, verschwindet aber wieder nach mehreren Monaten. (Siehe Gintl in Zeitschr. n. F. 55 u. 117.)

38. **Weingeistthermometer** sind den Quecksilberthermometern ganz ähnlich, werden auch auf gleiche Weise verfertigt, nur mit dem Unterschiede, daß man als thermometrische Flüssigkeit statt Quecksilber starken (36—40gradigen, d. i. die Dichte 0,85—0,83 zeigenden) gefärbten Weingeist nimmt. Wiewohl dieser für sich im Freien schon unter 100° C siedet, so kann man doch Weingeistthermometer verfertigen, welche ohne Gefahr des Zerspringens die Hitze des siedenden Wassers aushalten. Man braucht sie nur ganz luftleer zu machen. Die entstehenden Weingeistdünste hindern durch ihren Druck das Sieden des Weingeistes, und haben doch nicht Kraft genug, ein starkes Glas zu zerreißen. Es ist wohl an sich klar, daß ein Weingeist- und ein Quecksilberthermometer nicht mit einander übereinstimmen werden. Oberhalb des Eispunctes ist der Gang des Weingeistthermometers weniger regelmäßig als jener eines Quecksilberthermometers; unter dem Eispuncte befolgt aber jenes einen eben so regelmäßigen, ja in der Nähe des Gefrierpunctes des Quecksilbers sogar einen richtigeren Gang als dieses. Man hat eigene Tabellen über den correspondirenden Gang eines Quecksilber- und Weingeistthermometers.

Zur Angabe der höchsten und niedrigsten Temperatur, welche die Luft in einem Zimmer oder im Freien während einer gewissen Zeit hatte, dient **Rutherford's** Maximum- und Minimum-Thermometer (Fig. 3). Es besteht aus zwei an derselben Fassung befestigten horizontal liegenden Thermometern a und b, deren eines Quecksilber, das andere Weingeist enthält. In der Röhre des Quecksilberthermometers befindet sich ein kleiner Cylinder von Eisen oder Stahl, der sich ohne merkliche Reibung darin bewegen kann. Diesen treibt die Quecksilbersäule vor sich hin, und läßt ihn an dem höchsten Puncte der Scala liegen, wodurch das Maximum der Temperatur angezeigt wird. In der Röhre des Weingeistthermometers hingegen ist ein solcher Cylinder aus Glas oder Email angebracht, der im Weingeiste ganz eingetaucht schwimmt. Zieht sich der Weingeist zusammen, so nimmt die Oberfläche desselben diesen Zeiger mit fort, so wie sich aber die Weingeistsäule verlängert, geht die Flüssigkeit an den Seiten des Cylinders vorbei, während dieser an der tiefsten Stelle der Scala, wohin er kam, liegen bleibt, und so das Minimum der Temperatur anzeigt. Die beiden Thermometer haben eine entgegengesetzte Stellung, damit durch gehöriges Neigen ihrer Fassung der Zeiger in jedem zur Oberfläche der Flüssigkeitssäule zurückgeführt werden könne, wenn eine neue Beobachtung beginnen soll. Die Größe der horizontalen Dimension des Instrumentes und noch mehr der Umstand, daß die Richtigkeit seiner Angaben durch Erschütterung leicht gefährdet wird, eignet es nicht zu jedem Gebrauche. So nimmt man zur Erforschung der Temperaturszunahme in tiefen Bohrlöchern artesischer Brunnen zu einer anderen Einrichtung des Maximumsthermometers, z. B. zu dem von **Magnus** angegebenen Geothermometer seine Zuflucht. Hievon, wie auch von Luftthermometern, Metallthermometern, Differenzialthermometern u. dgl., wird an den gehörigen Orten die Rede seyn. Ueber die Verfertigung der Thermometer siehe: **Luz** Anweisung, Thermometer zu verfertigen. Nürnberg, 1834. **Körner's** Anleitung zur Verfertigung übereinstimmender Thermometer. Jena, 1824. **Rudberg** in Pogg. Ann. 40, 39 u. 582.

39. Für große Hitzegrade, die mittelst der Thermometer nicht mehr bestimmt werden können, bedient man sich sogenannter Pyrometer. Diese sind noch bei weitem nicht auf einen so hohen Grad der Vollkommenheit gebracht, wie die Thermometer, und keine der verschiedenen Einrichtungen, die man den Pyrometern bis jetzt gegeben hat, erfreut sich eines allgemeinen Gebrauches. Das Wedgewood'sche Pyrometer, welches auf der Eigenschaft des Thones beruht, sich in der Hitze um so mehr zusammenzuziehen, je stärker diese ist, und dem man längere Zeit vieles Zutrauen schenkte, ist in Folge neuerer Untersuchung für unzuverläßig erkannt worden und wird jetzt kaum mehr beachtet. Man hat daher andere Mittel ergriffen. Guyton Morveau (Mémoires de l'Acad. 1808) mißt die Hitzegrade eines Körpers durch die Ausdehnung des Platins; Daniell, nach dessen Erfahrung sich ein Thoncylinder in einer mäßigen lange anhaltenden Hitze eben so stark zusammenzieht, wie in einer hohen, nur kurz dauernden, mithin schon deßhalb allein als pyrometrische Substanz unbrauchbar ist (Edinb. philos. journ. N. 10. 397), durch den Unterschied zwischen der Ausdehnung des Platins und des Graphits, Mill (Zeitschr. 2. 75) und Pouillet (Eléments de Physique. 3. Edit. I. 231) durch die Ausdehnung der Luft in einem Platingefäße. Am annehmbarsten dürfte wohl Prinsep's Vorschlag seyn, die Hitzegrade aus den Schmelzpuncten verschiedener Metalle abzunehmen. Die Schmelzpuncte des Silbers, Goldes und Platins liegen so weit aus einander, daß sie recht wohl die fixen Puncte der Scala abgeben können, und für die Zwischengrade dienen die Schmelzpuncte verschiedener Legirungen aus diesen Metallen. Zwischen dem Schmelzpuncte des reinen Silbers und dem des reinen Goldes werden 10 Grade angenommen, und die zu ihrer Bestimmung passenden Legirungen dadurch erhalten, daß man dem Silber successiv immer 10 Proc. Gold zusetzt. Zwischen den Schmelzpuncten des reinen Goldes und des Platins liegen 100 Grade, und man erhält die Legirungen, deren Schmelzhitze diesen Graden entspricht, indem man mit dem Golde successiv 1 Proc. Platin verbindet. Es ist kein Zweifel, daß dadurch, zumal wenn man die Schmelzpuncte mit Hülfe des Luftpyrometers nach später zu erklärenden Grundsätzen ein für allemal auf Thermometergrade reducirt, in die pyrometrischen Bestimmungen Uebereinstimmung gebracht wird, und da man von den Metalllegirungen nur sehr kleine Massen braucht (etwa von der Größe eines gemeinen Stecknadelkopfes), und jede derselben sehr oft benützt werden kann; so darf dieses Verfahren mit Recht empfohlen werden.

Wedgewood's Pyrometer besteht aus einer hinreichenden Anzahl kleiner Thoncylinder und einer Vorrichtung, ihre Dicke zu messen. Diese Vorrichtung (Fig. 4) wird von zwei convergirenden, etwa 12 Zoll langen Leisten gebildet, die an einem Ende um 0,5 Zoll, am anderen um 0,3 Zoll von einander abstehen, und zwischen welche obige Cylinder desto weiter hineingeschoben werden können, je kleiner sie sind. Die Leisten sind der Länge nach in 240 gleiche Theile getheilt, welche die Pyrometergrade vorstellen. Die Cylinder werden aus eigens gemischtem Thone von Cornwallis gemacht, zuerst alle von gleicher Größe

angetragen, und hierauf bei 100° C getrocknet. Schon beim Trocknen schwinden sie ungleich, so daß wohl einige bis zum Nullpuncte der Scala mit der vorderen Kante zwischen die Leisten geschoben werden können, andere aber weiter, andere minder weit reichen. Um alle brauchen zu können, notirt man auf jedem Stücke die Zahl, um welche er zu klein oder zu groß ist, und zwar erstere an der vorderen, letztere an der hinteren, abgestumpften Seite, damit man beim Gebrauche darauf die gehörige Rücksicht nehmen könne. Die so regulirten Stücke werden hart gebrannt, und reichen dann meistens bis zum 6ten oder 7ten Grade. — Will man mit diesem Instrumente eine hohe Temperatur bestimmen, so setzt man einen solchen Thoncylinder derselben aus, läßt ihn diese Temperatur annehmen, hierauf aber erkalten, wornach man ihn zwischen die Leisten der Scale, so weit es angeht, einschiebt, und den Grad abliest, der seiner Vorderfläche entspricht, berücksichtigt aber dabei die am Cylinder notirte Correction. Schon einmal gebrauchte Stücke kann man noch fernerhin für höhere Temperaturen benützen. Nach Wedgewood entspricht der Nullpunct der Scala einer Temperatur von 1077° F = 580° $^1/_2$ C und jeder Grad 132° F = 73° $^1/_3$ C. Nach Guyton Morveau stimmt aber der Nullpunct der W. Scala mit 517° F und jeder Grad mit 62° $^1/_2$ F überein. (Beschreibung und Gebrauch eines Thermometers, die hohen Hitzgrade zu messen &c., von J. Wedgewood. Aus dem Englischen London, 1786.)

40. Daß in allen materiellen Dingen Theile unterschieden werden können, ergibt sich schon aus der Eigenschaft der Ausdehnung, die ihnen zukommt; daß aber diese Theile getrennt werden können, oder daß die Körper **theilbar** sind, läßt sich erst aus der Erfahrung abnehmen. Diese lehrt, daß jeder Körper theilbar sey; ob aber die Theilbarkeit ins Unendliche gehe, oder überhaupt, wie weit sie gehe, läßt sich auf dem Wege der Erfahrung nicht ausmachen. So viel ist gewiß, daß einige Körper, wie z. B. die dehnbaren Metalle, die riechenden, leuchtenden und färbenden Stoffe durch Kunst in erstaunungswürdig kleine Theile getheilt werden können, weßwegen die Annahme, es gebe Theilchen die wir nicht durch unsere Sinne wahrzunehmen vermögen und die an sich betrachtet, weiter theilbar sind, nicht ungereimt erscheint. An solche Theilchen die man mit dem Worte **Molekel** (molecula) zu bezeichnen pflegt, denkt man oft, wenn man von den kleinsten Körpertheilchen im Allgemeinen spricht.

Aus einem Gran Gold schlagen die Goldarbeiter Blättchen von 36 Quadratzoll Oberfläche; die Drahtzieher vergolden eine silberne Stange von 22 Zoll Länge und 1$^1/_4$ Linie Dicke mit einer Unze Goldes, und ziehen sie dann zu einem Drahte aus, der 97 französische Meilen lang ist; wird er noch dazu platt gedrückt, so erlangt er gar eine Länge von 110 Meilen, und ist doch allenthalben übergoldet, aber mit Blättchen, deren Dicke so gering ist, daß nach Black's Berechnung 14 Millionen erst die Dicke eines Zolles geben, während eben so viele Blätter gemeinen Druckpapiers $^3/_4$ englische Meilen einnehmen. Platin läßt sich durch ein eigenes, von Wollaston angegebenes Verfahren zu Draht von $^1/_{30000}$ Zoll Dicke ausziehen. Silber läßt sich zu Plättchen ausdehnen, wovon 8 Millionen auf einander gelegt erst die Dicke von 1$^1/_4$ Linie haben, und ein 1 Gran schweres Silberklümpchen läßt sich zu einem 60 Fuß langen Draht ausziehen. Ein kleines

Stück Moschus erfüllt ein sehr großes Zimmer mit seinem Geruche, ohne daß die verflüchtigten Theile durchs Gewicht erkannt werden können. Man nimmt an, daß 1 Gran 320 Quadrillionen Theile gebe, deren jeder den Geruchssinn zu afficiren vermag. Mit Phosphor kann man eine Menge leuchtender Buchstaben an eine Wand schreiben, ohne ihn merklich abzureiben. Ein Gran Karmin färbt 20 Pfund Wasser merklich roth, und jedes als roth bemerkbare Theilchen hat nur die Größe $^1/_{30000000}$ Zoll. Löwenhoek zählte in einem Tropfen Stockfischmilch von der Größe eines Sandkornes 2 Millionen Thierchen. Man kennt mikroskopische Thiere, deren Bau so zusammengesetzt ist, wie der irgend eines größeren Thieres.

Einige ältere Naturforscher meinten die Existenz völlig untheilbarer materieller Theilchen postuliren zu müssen und nannten selbe Atome. Diese Benennung wird auch gegenwärtig, jedoch in verändertem Sinne gebraucht, indem man darunter Theilchen versteht, deren weitere Theilung nicht in Betrachtung kommt, wie später erklärt werden wird.

41. Durch die hier ins Auge gefaßte Theilung erhält man die Körpertheile mit den sinnlichen Eigenschaften, die sie vor der Theilung im Körper zeigen, und wie sie da neben einander, d. i. räumlich geschieden erscheinen. Durch gehöriges Aneinanderfügen derselben müßte also der vorige Körper wieder zum Vorschein kommen. Man nennt eine solche Theilung eine mechanische, weil sie in der Regel durch Anwendung äußerer Gewalt, also durch mechanische Mittel, als: Schlagen, Stoßen, Mahlen, Schneiden, Hobeln, Raspeln, Feilen, Walzen u. dgl. zu Stande gebracht wird, wenn gleich es möglich ist, die Körper auch durch ihnen eigene Kräfte, als durch Verdunsten, und durch später zu erklärende chemische Operationen, als Auflösen eines Stoffes und nachheriges Fällen, in fein vertheiltem Zustande zu erhalten. Die Theile, die sich durch mechanische Theilung ergeben, heißen Aggregattheile und ein Körper, in so fern man sich denselben aus solchen Theilchen bestehend denkt, heißt ein Aggregat. Unterscheiden sich die Aggregattheile unter einander bloß durch Größe und Gestalt, nicht aber durch die innere materielle Beschaffenheit, so nennt man sie gleichartige oder homogene, im Falle des Gegentheils ungleichartige oder heterogene. Ein Aggregat, welches lediglich aus homogenen Theilen besteht, heißt ein gleichartiges; lassen sich aber darin ungleichartige Theile unterscheiden, so wird es ein Gemenge genannt, und seine Theile heißen Gemengtheile. So ist der Granit, der aus Quarz-Feldspath- und Glimmerstückchen zusammen gesetzt ist, eine Gemenge. Die kleinsten Aggregattheile eines Gemenges erscheinen für sich betrachtet offenbar als homogene Aggregate.

Nebst der mechanischen Theilung gibt es noch eine chemische mittelst derselben wird ein homogenes Aggregat in ungleichartige Theile zerlegt, die sich im Körper vor der Theilung nicht unmittelbar als räumlich geschieden wahrnehmen lassen, und oft mit Eigenschaften auftreten, von denen derselbe keine Spur zeigt. Nicht jeder Körper ist chemisch theilbar, daher kann von diesem Gegenstande im gegenwärtigen Kapitel keine Rede seyn.

42. Die Aggregattheile der Körper scheinen einander nicht bis zur Berührung genähert zu seyn, sondern in großen Abständen von

einander erhalten zu werden, denn es können diese Abstände manchmal sogar deutlich wahrgenommen werden, oder sie verrathen sich durch mannigfaltige Erscheinungen. Man sagt dann, ein Körper besitze **Zwischenräume** oder **Poren**. Meistens dehnt man dieses auf alle Körper aus, und sieht die **Porosität** als eine allgemeine Eigenschaft der Körper an, wiewohl es Körper gibt, bei denen gar kein anderer Grund für das Daseyn von Poren vorliegt, als die Zusammendrückbarkeit der Körper im Allgemeinen, die wegen der Undurchdringlichkeit der Theilchen nicht möglich wäre, wenn sich dieselben gänzlich berührten.

An vielen Körpern erkennt man die Zwischenräume schon mit freiem Auge, wie z. B. beim Korkholz; bei anderen Holzarten schließt man auf ihr Daseyn daraus, daß man mittelst der Hand oder einer Presse Quecksilber durchpressen kann; aus Eiern, Nußschalen, selbst aus dem sogenannten Hydrophan (einem porösen Steine) steigen Luftblasen auf, wenn man sie ins Wasser legt, zum Beweise, daß die in den Zwischenräumen enthaltene Luft durch das Wasser vertrieben wird, mithin zum Beweise des Daseyns der Zwischenräume selbst. Marmor läßt eine mit Firniß abgeriebene Farbe auf eine ziemliche Tiefe eindringen; tropfbar flüssige Körper, z. B. Wasser, Weingeist, saugen luftförmige Stoffe ein, und beurkunden dadurch ihre Porosität. Wie groß die Anzahl der Zwischenräume in den Häuten der Thiere sey (wenn es überhaupt erlaubt ist, die feinen Gefäßenden an der Oberhaut Poren zu nennen), kann man aus dem Austreten des Schweißes, der Wirksamkeit der Salben und Räucherungen schließen.

43. Jeder Körper stellt uns eine gewisse Art der Verbindung seiner Aggregattheile vor Augen, d. h. er besitzt einen gewissen **Aggregationszustand**. Es gibt zwei Hauptformen dieses Zustandes; in der einen erscheinen die Körper **fest**, in der anderen **flüssig**. In der festen Form zeigen sich die Körpertheile dermaßen an die Stellungen gebunden, welche sie unter einander inne haben, daß eine merkliche Kraft erfordert wird um daran eine Aenderung hervorzubringen. Es ist wohl möglich das Volum oder wenigstens einzelne Dimensionen eines festen Körpers zu verkleinern, allein sogleich wird ein Widerstand rege, der in viel größerem Maße zunimmt, als die Dimensionen des Körpers abnehmen, und bald eine solche Höhe erreicht, daß ein weiteres Zusammendrücken die Grenze unserer Hilfsmittel überschreitet, oder gar der Zusammenhang der Körpertheile aufgehoben wird. Andererseits werden wir, wenn wir die Dimensionen eines festen Körpers zu vergrößern streben, gleichfalls einen Widerstand gewahr, der bis zu einem gewissen Grade der Dehnung des Körpers wächst, über welchen hinaus der Zusammenhang der Körpertheile nicht bestehen kann. In der flüssigen Form dagegen geht die Verschiebung der Körpertheile mit der größten Leichtigkeit an. Jedoch sind hier zwei untergeordnete Aggregationsformen wohl zu unterscheiden. Gewisse flüssige Körper nämlich lassen sich nur äußerst schwierig zusammendrücken, so daß die größten Druckkräfte, welche wir zu Stande zu bringen vermögen, nur eine geringe Verkleinerung ihres Volums bewirken; sie zeigen überdieß ein sehr schwaches Aneinanderhaften der einzelnen Theilchen, das nur bei kleinen Mengen durch das Bestreben die Kugelform anzunehmen

oder Tropfen zu bilden hervortritt, während größere Mengen sich durch ihr Gewicht von einander trennen; ein solcher Körper erfüllt daher stets den tiefsten Theil des Gefäßes, in welches er gebracht wird. Man nennt flüssige Körper der so eben beschriebenen Art tropfbar flüssige, kürzer tropfbare Körper, wohl auch in so fern man bei theoretischen Untersuchungen von ihrer geringen Zusammendrückbarkeit abstrahirt, unzusammendrückbare Flüssigkeiten. Das Wasser in seinem gewöhnlichen Zustande kann als Repräsentant dieser Körperform dienen. Es gibt aber noch eine andere Form der Flüssigkeit, in welcher die Körper sich bedeutend zusammendrücken lassen und zugleich ein beständiges Bestreben äußern, ein größeres Volum anzunehmen, so daß sie in ein von allen Seiten geschlossenes Gefäß gebracht, dasselbe stets ganz ausfüllen. Dabei zeigt sich gar kein Aneinanderhaften der Theile. Man nennt flüssige Körper dieser Art ausdehnsam flüssige, kürzer ausdehnsame. Man ist seit langer Zeit her gewohnt, die ausdehnsamen Körper in Gase und in Dünste einzutheilen, wovon erstere bei jedem Drucke und bei jedem Kältegrade ausdehnsam bleiben sollen, während letztere durch Zusammendrücken und Erkalten in den tropfbaren Zustand übergehen. Als Repräsentanten der Gasform kann man die atmosphärische Luft, als jenen der Dunstform, den Wasserdampf ansehen. In der neueren Zeit hat man aber die meisten Körper, die man sonst für Gase hielt, tropfbar dargestellt, und es wahrscheinlich gemacht, daß der Unterschied zwischen Gasen und Dünsten nicht wesentlich sey. Weil es aber das Auffassen der Erscheinungen erleichtert, wenn man die Stoffe, welche in der Regel im ausdehnsamen Zustande vorkommen, von jenen, die bald ausdehnsam bald tropfbar erscheinen, auch durch die Bezeichnung unterscheidet; so wollen wir diejenigen Gase nennen, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und beim natürlichen Luftdruck stets ausdehnsam sind, und mit dem Worte Dunst diejenigen bezeichnen, welche unter diesen Umständen ihre Ausdehnsamkeit nicht behalten.

44. Die Verschiedenheit des Aggregationszustandes begründet für sich allein genommen keine innere Verschiedenheit der Körper, denn es kann derselbe Körper ohne Aenderung seiner inneren Natur in allen drei Aggregationsformen erscheinen, wie wir dieses am Wasser sehen, das bald fest als Eis, bald tropfbar, bald gar ausdehnsam als Wasserdunst erscheint. Doch richten sich die besonderen Umstände, unter welchen die eine oder die andere Aggregationsform auftritt, nach der Beschaffenheit jedes einzelnen Stoffes. Die Umwandlung des Aggregationszustandes wird durch die Wärme oder durch einen Druck von bestimmter Größe bewirkt. Durch Erhöhung der Temperatur bis zu einem von der Natur der Körper abhängigen Grade werden feste Massen tropfbar flüssig und tropfbare ausdehnsam, während durch Verminderung der Temperatur die entgegengesetzten Erscheinungen erfolgen. Wenn es uns auch nicht gelingt, alle Körper durch Erwärmung oder Erkältung in allen drei Zuständen darzustellen; so kann man doch immerhin annehmen, es fehlen uns bloß die Mittel, den

dazu nöthigen Wärme- oder Kältegrad zu erzeugen, ausgenommen die Fälle, in welchen Körper eher chemisch zersetzt werden, als sich ihr Aggregationszustand ändert. Durch mechanischen Druck d. i. durch Verdichtung ohne gleichzeitige Erhöhung der Temperatur lassen sich viele ausdehnsame Körper in tropfbar flüssige verwandeln. Vorzüglich wirksam zeigt sich diejenige Art der Compression, welche ein ausdehnsamer Körper auf sich selbst ausübt, und die Faraday zuerst mit bestem Erfolge angewendet hat.

Faraday schloß den Stoff, welcher das Gas liefern soll, in eine hinreichend dicke Glasröhre luftdicht ein, und wendete hierauf das Mittel an, wodurch die Gasentwicklung hervorgebracht wird. Ist dieses kräftig genug und das Gefäß hinreichend stark, so wird anhaltend Gas erzeugt, und das bereits vorhandene bis zum tropfbaren Zustande verdichtet. Auf diese Weise haben Faraday und Niemann schwefelige Säure, Cyan, Chlor, Ammoniak, Chloroxyd, Schwefelwasserstoff, Salzsäure, Kohlensäure, Stickstoffoxydul und chlorige Säure tropfbar, Thilorier Kohlensäure in großer Menge nicht nur tropfbar, sondern durch fernere Behandlung sogar fest dargestellt. (Gilb. Ann. 75. 335. Brande's Archiv 36. 175. Pogg. Ann. 36. 141.)

45. Die Verschiedenheit des Aggregationszustandes läßt sich nicht wieder aus Erscheinungen herleiten; man nimmt daher zur Erklärung desselben zu Kräften, welche die kleinsten Aggregattheile (Molekel) beherrschen, zu den sogenannten Cohäsions- oder Molecularkräften seine Zuflucht. Wir wollen vorläufig die Beschaffenheit der Molekel ganz unbestimmt lassen und bloß voraussetzen, daß sie sehr klein sind, unseren Sinnen deßhalb entschwinden und in Distanzen von einander stehen, die obgleich sie die Dimensionen der Molekel viele Male übertreffen mögen, dennoch durch unsere Sinne nicht aufgefaßt werden können. Der Widerstand, den wir an jeder Aggregationsform bei Verkleinerung des Volums wahrnehmen, fordert die Annahme einer Abstoßungskraft, welche die kleinsten Theile der Körper gegen einander äußern und deren Intensität zunimmt, wenn diese Theile einander näher rücken. Eben so führen wir den Widerstand, welchen wir bei der Trennung der Theile eines festen Körpers zu überwinden haben, und der sich selbst an tropfbaren Flüssigkeiten, gerade durch das Phänomen der Tropfenbildung und durch die dem Zerreißen sich vergrößernder Tropfen vorangehende Dehnung kund gibt, auf die Wirksamkeit einer zwischen den kleinsten Theilchen bestehenden Anziehungskraft zurück. Die Abstoßung wie auch die Anziehung, welche sich nach Umständen zwischen den Körpertheilen äußert, geht nach dieser Ansicht aus dem gleichzeitigen Walten beider einander bekämpfenden Kräfte hervor, wobei der Ausschlag lediglich davon abhängt, ob die eine oder die andere Kraft das Uebergewicht behauptet. An den festen Körpern finden wir bei der natürlichen Anordnung ihrer Theile diese Kräfte im Gleichgewichte; werden die Körpertheile einander genähert, so bekommt die abstoßende, werden sie von einander entfernt, die anziehende Kraft das Uebergewicht, bis entweder der Zusammenhang der Theile aufhört, oder ein neues Gleichgewicht eintritt, wie im

der Folge ausführlicher erklärt werden wird. Alle Erfahrungen sprechen dafür, daß die Wirksamkeit der die Aggregationsformen bedingenden Kräfte auf unmerkliche Entfernungen eingeschränkt ist, so daß wenn auch diese Kräfte nicht bloß zwischen unmittelbar benachbarten Theilchen herrschen, sondern von einem jeden Theilchen ringsum auf viele hinter einander stehende ausgeübt werden, sie dennoch nur in sehr kleinen für unsere Sinne nicht wahrnehmbaren Distanzen, Effecte von merklicher Intensität hervorbringen, hingegen bei meßbarer Entfernung der Theilchen keine wahrnehmbare Wirkung äußern. Deßhalb lassen sich von einander getrennte Theile harter Körper mit sehr unebenen Flächen, z. B. Theile gebrochenen Glases, Holzes nicht wieder vereinigen, denn es ist nicht möglich die Trennungsflächen einander gehörig zu nähern, während Körper mit glatten, gut an einander passenden Flächen, wie eben geschliffene Glas- oder Metallplatten stark an einander haften, und die Vereinigung weicher Körper, dergleichen Wachs, Blei, glühendes Eisen u. dgl. sind, leicht angeht. Bei tropfbaren Flüssigkeiten hat an der Oberfläche in vielen Fällen die abstoßende Kraft, in unmeßbarer Distanz unter derselben aber die anziehende Kraft das Uebergewicht. Letzteres wird durch das Vorhandenseyn der Cohäsion tropfbarer Körper außer Zweifel gesetzt, ersteres beweiset der Umstand, daß die an der Oberfläche einer Flüssigkeit liegenden Theilchen, wenigstens bei nicht zu niederer Temperatur, alsogleich in ausdehnsamen Zustand übergehen, wenn nicht von Außen ein Druck auf sie wirkt. In den gewöhnlichen Fällen bewirkt die atmosphärische Luft diesen Druck, im luftleeren Raume vertreten sie aber bald die sich bildenden Dünste; im Inneren einer solchen Masse wird dem Bestreben, ausdehnsam zu werden, noch durch den Druck der darüber befindlichen Theile Einhalt gethan. Um zu begreifen, wie beide entgegengesetzte Kraftäußerungen neben einander bestehen können, bedenke man, daß es allerdings möglich ist, daß die zugleich vorhandenen einander bekämpfenden Kräfte sich bei verschiedener Entfernung der Theilchen, zwischen welchen sie herrschen, nach verschiedenen Gesetzen ändern, mithin bei gewisser Entfernung zweier Theilchen die eine, bei anderer Entfernung die andere Kraft das Uebergewicht hat. An ausdehnsamen Flüssigkeiten herrscht die abstoßende Kraft entschieden vor, woraus die Eigenthümlichkeit dieser Körperform leicht erklärbar ist, was die Folge ausführlicher darthun wird.

46. Man muß bei Betrachtungen dieser Art die Thatsachen von den zu ihrer Erklärung gemachten Annahmen wohl unterscheiden. Die Molecularanziehung ist keine Hypothese, sondern ein so wohl begründetes Factum, daß man selbe als eine allgemeine Eigenschaft der Körper zu betrachten hat. Ein gleiches gilt von der Molecularabstoßung. Alle Körper zeigen aber außer der unter ihren eigenen Theilchen obwaltenden Anziehung auch noch eine besondere Einwirkung auf die Theilchen anderer Körper, welche sich durch das Aneinanderhaften heterogener Körper, die sogenannte Adhäsion, äußert. Sie tritt insbesondere, wie unzählige Erscheinungen lehren, bei der Berührung

sowohl fester Körper mit tropfbaren oder ausdehnsamen Flüssigkeiten, als auch flüssiger Körper jeder Art unter einander entschieden hervor. Läßt man z. B. einen Wassertropfen auf eine reine Glasplatte fallen, so sieht man ihn aus einander fließen und die ihm ursprünglich eigenthümliche Kugelform verlieren; auf einer fetten Platte zeigt er sich aber, wenn er nicht zu groß ist, völlig in seiner sphärischen Gestalt. Was der Wassertropfen auf einer reinen Glas- oder vielmehr auf einer Salzplatte, das zeigt ein Quecksilbertropfen auf einer Zinntafel, während er sich auf Glas so verhält, wie Wasser auf einer Fettschichte. Das Naßwerden eines Körpers in verschiedenen Flüssigkeiten bezeuget eben so, wie der vorige Fall, die Anziehung zwischen ihm und den Flüssigkeiten. Bringt man eine Scheibe mit der Oberfläche einer ruhigen Flüssigkeit, die in einem weiten Gefäße enthalten ist, in Berührung, und versucht sie dann wieder wegzunehmen; so erfährt man einen Widerstand, der bei derselben Flüssigkeit mit dem Durchmesser der Scheibe und mit dem Sinken der Temperatur wächst. So wie man die Scheibe hebt, zieht man mit ihr zugleich eine Säule der Flüssigkeit bis zu einer bestimmten Grenze in die Höhe; wird diese überschritten, so reißt sich die Flüssigkeit los. Um sie an dieser Grenze im Gleichgewichte zu erhalten, braucht man eine Kraft, die dem Gewichte der Scheibe und der gehobenen flüssigen Säule gleich kommt. Diese Kraft äußert sich nur auf eine sehr geringe Entfernung; denn die Größe des Gewichtes, wodurch eine solche Scheibe von der Flüssigkeit losgerissen wird, hängt gar nicht von der Dicke, und wenn die Scheibe von der Flüssigkeit benetzt wird, gar nicht von dem Materiale der Scheibe ab, und wird durch Ueberziehen der Scheibe mit der dünnsten Fettschichte gänzlich abgeändert. (Vergl. Frankenheim in Pogg. Ann. 37. 409.) Es herrscht auch zwischen verschiedenen tropfbaren Flüssigkeiten eine Adhäsion, deren Stärke von der Natur derselben abhängt. Ein Tropfen fettes Oehl breitet sich auf einer Wasserfläche schnell aus, wird aber durch flüchtiges Oehl verdrängt und dieses wieder durch milchartige Pflanzensäfte oder durch Weingeist überwältiget, zum Beweise, daß unter diesen Körpern fettes Oehl die kleinste, Weingeist die größte Adhäsion zum Wasser habe. (Carradori in Voigt's Magazin B. 2. S. 1.) Vielleicht gehören auch Brown's Molecularbewegungen (Pogg. Ann. 14. 294) hieher. Zwischen Gasen und festen und tropfbaren Körpern findet eben so eine Adhäsion Statt, wie zwischen festen und tropfbaren, denn wie wäre sonst erklärbar, daß Luft so hartnäckig an Glas haftet, und nur durch große Hitze vertrieben werden kann, was man besonders bei dem Erhitzen tropfbarer Flüssigkeiten, die man luftleer machen will, z. B. Quecksilber, in engen Gefäßen oder Röhren erfährt, wobei sich fortwährend Luft an den Wänden zeigt, die sich nur mühsam losmacht. An der Oberfläche eines jeden festen Körpers ist eine Schichte von dem Gase, das ihn umgibt, verdichtet, und kann zunächst am Körper sogar tropfbar seyn, wenn dazu überhaupt ein mäßiger Druck hinreicht. Die Menge der so verdichteten Luft muß sich natürlich nach der Adhäsion, die zwischen

dem Körper und dem Gase Statt findet, und nach der Größe der Oberfläche richten. Poröse oder gepulverte Körper bieten selbst bei einer kleinen Masse einem Gase eine sehr große Oberfläche dar (die Oberfläche aller Poren eines Stückes Holzkohle von der Größe eines Kubikzolles kann über 100 Q. Fuß betragen); findet nun zwischen einem Gase und einem solchen Körper eine Adhäsion Statt, so muß letzterer eine gewisse Menge dieses Gases einsaugen oder absorbiren. Man bemerkt dieses in der That an frisch geglühter und in Quecksilber abgelöschter Kohle, an porösem Holz, Meerschaum, Wollen- und Seidenzeugen, an Platinpulver (Platinschwamm) und an vielen Flüssigkeiten, namentlich an den Sauerwässern, mussirenden Weinen, Bouteillenbier u. dgl.

Man benutzt die Adhäsion zwischen festen und tropfbaren Körpern zu den mannigfaltigsten Zwecken und bei vielen technischen Arbeiten, z. B. beim Leimen, Kitten, Schreiben, Anstreichen, Malen, Zeichnen, Lithographiren; auch Vera's Seilmaschine zum Wasserheben beruht darauf. Diese besteht aus einem oder mehreren Stricken ohne Ende, die um zwei über einander befindliche Wellen gehen. Die untere Welle befindet sich in dem Wasserbehälter, die obere an der Stelle, wohin das Wasser gehoben werden soll. Letztere läßt sich mittelst einer Kurbel um ihre Axe drehen, und nimmt bei der Bewegung die Stricke mit sich fort. Wird schnell genug gedreht, so erscheint der ganze aufsteigende Arm des Strickes mit Wasser umgeben, welches beim Wenden desselben in einem eigenen Behälter gesammelt werden kann. Aus der hier besprochenen Anziehung erklärt sich auch das Herabfließen mancher Flüssigkeiten an der äußeren Wand des Gefäßes, worin sie enthalten sind, wenn man sie langsam ausgießen will, und der Nutzen der Ausgußschnäbel und der auswärts gebogenen Ränder solcher Gefäße. Auf der Adhäsion beruht auch die Bewegung des schottischen Drehers, eines Körpers, der wie eine Glaslinse mit der convexen Unterfläche auf einer geneigten Glastafel liegt. Ist diese Platte trocken, so bewegt er sich auf derselben, ohne irgend ein auffallendes Phänomen, abwärts; wird aber an die Stelle, wo er sich befindet, ein Wassertropfen gebracht, der sich ausbreitet und die convexe Fläche so umschließt, daß er daselbst einen Meniskus bildet: so beginnt der Körper sich in drehender Bewegung abwärts zu bewegen, und kann durch Neigen der Glastafel nach dieser oder jener Seite beliebig herumgeführt werden. Diese und noch viele andere Erscheinungen, bei denen Adhäsion ins Spiel tritt, als: der starke Zusammenhang zwischen zwei angefeuchteten oder nur angehauchten und dann zusammengeschobenen Glasplatten, oder jener zweier Metallplatten, die mit flüssigem Fett überstrichen und hierauf der Kälte ausgesetzt werden, damit das Fett stocke (Muschenbroek's Cylinder); ferner das Zusammenbacken feiner feuchten Erdtheile zu einer soliden Masse (Sandstein), die Schwierigkeit nasse Papierblättchen von einander zu trennen, welcher Umstand überhaupt bei dem Festwerden der Körper eine große Rolle zu spielen scheint; das Aufsteigen des Wassers in engen Röhren, in Sand, des Weingeistes, Oehles in den Lampendochten, und unzählige ähnliche, machen eine eigene Classe aus, welche man unter der gemeinschaftlichen Benennung »Capillarphänomene« zusammenfaßt, und deren genauerer Betrachtung ein besonderer Abschnitt dieses Buches gewidmet ist.

47. Die Erscheinungen der Adhäsion lassen sich eben so wenig als die früher betrachteten des Aggregationszustandes (der Cohäsion)

auf andere Erscheinungen reduciren; nimmt man nun zur Erklärung dieser das Vorhandenseyn von Molecularkräften an, so ist es naturgemäß, auch jene auf ähnliche Weise zu erklären. Man setzt demnach voraus, daß nicht bloß zwischen gleichartigen, sondern auch zwischen ungleichartigen kleinsten Aggregattheilen anziehende und abstoßende Kräfte walten, deren Intensitäten unter übrigens gleichen Umständen von der materiellen Beschaffenheit dieser Theilchen abhängen, nur in unmeßbar kleinen Distanzen eine merkliche Wirkung zur Folge haben, in meßbaren Distanzen dagegen völlig verschwinden.

Ob diese Kräfte der Materie als solcher wesentlich zukommen, so daß ohne sie die Materie gar nicht bestehen könnte, wie z. B. die Dynamisten behaupten, nach deren Ansicht die Materie selbst nur das Resultat der Wechselwirkung der einander hemmenden Anziehungs- und Abstoßungskraft seyn soll, und welche in dem Phänomen der Undurchdringlichkeit den reinen Ausdruck der Anwesenheit der abstoßenden Kraft sehen: oder ob auch ohne genannte Kräfte eine den Raum mit Undurchdringlichkeit erfüllende Substanz möglich wäre, wie die Atomisten annehmen, läßt sich nicht entscheiden. Einige Physiker sehen nur die Anziehungskraft als eine der Materie selbstständig eigene an, und setzen den Grund der Abstoßung in die Anwesenheit eines die Molekel umgebenden besonderen Agens, dem sie unter andern vornehmlich die Vermittelung der Erscheinungen der Wärme zuschreiben. In welchem Zusammenhange mit derlei Ansichten die Vorstellung steht, die man sich von dem Wesen der chemischen Vereinigung heterogener Stoffe macht, wird im folgenden Kapitel näher erörtert werden.

48. Außer der Molecularanziehung sind die Körper noch dem Bestreben zur Erde zu fallen unterworfen. Man nennt es die Schwere, und rechnet diese zu den allgemeinen Eigenschaften der Körper. Dem Rauche, den Wolken u. dgl. kann man eben so wenig die Schwere absprechen, weil sie in der Luft aufwärts steigen, als man sie einem Stücke Korkholz abspricht, weil es sich im Wasser erhebt. Daß die Schwere den Körpern nicht als Ganzen, sondern allen ihren Theilen zukomme, lehrt der Umstand, daß man bei der Theilung derselben in die kleinsten Stücke jedes schwer findet. Die Richtung eines frei fallenden Körpers heißt vertical. Sie wird durch einen biegsamen, von einem schweren, frei hängenden Körper gespannten Faden angezeigt. Eine darauf senkrechte Linie oder Ebene heißt horizontal. Der Erfahrung gemäß sind die verticalen Richtungen in nicht weit von einander entfernten Orten parallel; in weit von einander entfernten convergiren sie gegen die Erde zu. An demselben Orte oder in nicht weit von einander entfernten Orten fallen, in einem nicht widerstehenden Mittel, alle Körper gleich schnell (wie mehrere in der Folge vorkommende Erfahrungen zeigen werden), es sind daher alle gleich schwer. Die Schwere eines Körpers ändert sich nicht mit der Zeit, wohl aber von Ort zu Ort, sie wird näher gegen den Aequator der Erde kleiner, näher gegen die Pole größer; in einerlei Verticallinie nimmt sie in größerer Entfernung vom Erdmittelpuncte ab. Man sieht die Erscheinungen der Schwere als Erfolg einer anziehenden Kraft an, welche die Erde auf alle Körper ausübt, und die deßhalb Schwer-

kraft genannt **wird.** Diese Kraft läßt sich auf die Anziehung aller Theilchen **der Erde gegen** alle Theilchen der Körper, die in, auf oder über ihr sich **befinden**, zurückführen, und ist nicht einmal auf die irdischen **Körper beschränkt**, sondern findet zwischen je zwei materiellen Theilchen **in dem** Himmelsraume Statt, in welcher Ausdehnung sie die **allgemeine Schwere** oder **Gravitation** heißt.

49. **Der Druck**, den ein Körper auf seine horizontale Unterlage vermög seiner **Schwere** ausübt, heißt sein **Gewicht**. In sofern man alle Theile **eines Körpers** als gleich schwer betrachten darf, kann man im Einklange **mit** dem in 33 Gesagten das Gewicht P desselben seiner Masse M **und der** Geschwindigkeit g, welche die Schwere an dem Orte, wo er sich **befindet**, während der Zeit 1 erzeugt, proportionirt setzen, so daß:

$$P = gM \ldots (1)$$

ist. Hier **stellt** g zugleich das Gewicht der Masse 1 vor, und das Gewicht der Masse, welche den numerischen Werth $\frac{1}{g}$ hat, ist die Einheit der Gewichte. Da an demselben Orte, wo g constant ist, die Gewichte zweier Körper sich wie ihre Massen verhalten, so dienen die Gewichte zur Vergleichung der Massen. In diesem Sinne sieht man das Gewicht als das wahre Maß der Masse eines Körpers an, und bestimmt letztere durch ersteres. Man kann, da es sich hierbei um bloße Verhältnisse handelt, sogar von der Gewichtseinheit, welche obiger Formel zum Grunde liegt, abgehen, und wie es im gemeinen Leben geschieht, ein beliebiges Gewicht als Einheit annehmen, und mittelst **Abwägen** finden, wie vielmal diese Einheit in dem zu untersuchenden Gewichte enthalten ist.

Durch Mittel, die jedoch erst in der Folge erklärt werden können, hat man gefunden, daß in Wien ein im leeren Raume freifallender Körper am Ende der ersten Secunde seiner Bewegung eine Geschwindigkeit von 31,03 Wiener Fuß erhält, d. h. daß er ohne Mitwirkung der Schwere lediglich wegen seiner Trägheit in der nächsten Secunde denselben angegebenen Weg durchlaufen würde. Es ist also für Wien, wenn der Fuß als Längeneinheit und die Secunde als Zeiteinheit gewählt wird, $g = 31{,}03$.

In Frankreich hat man das Gewicht eines Kubikcentimeters reinen Wassers bei einer Temperatur von 2°,7 R. als Einheit angenommen und **Gramme** genannt. Ein Zehntel, Hundertel, Tausendtel davon heißt Decigramme, Centigramme, Milligramme; das Zehnfache, Hundertfache, Tausendfache desselben Dekagramme, Hektogramme, Kilogramme. Gewöhnlich nimmt man einen Zentner, ein Pfund, ein Loth rc. als Einheit des Gewichts an; in jedem Lande ist die Größe einer solchen Einheit bestimmt. Ein Wiener Pfund (32 Loth jedes zu 240 Gran) hält 560012 Milligramme, mithin ein Gramme 13,714 Gran und ein Kilogramm 1 Pfund 25 Loth 33,9917 Gran des Wiener Gewichtes. Ein Pariser Pf. hält 489506 Milligr., ein engl. Pf. (Troy-w.) 373202 Milligr., ein preuß. Pf. 467711 Milligr., und ein bayr. Pf. 560000 Milligr. Unter dem Ausdrucke: Einheit des Gewichtes, oder *Gewicht* = 1 soll in der Folge stets ein Wiener Pfund verstanden werden, *wenn nicht* ausdrücklich ein anderer Werth festgesetzt wird.

50. Jedes Instrument, das zur Bestimmung des Gewichtes eines Körpers dient, heißt eine Wage. Ohne hier in die Betrachtung der zweckmäßigsten Construction eines solchen Instrumentes näher einzugehen, was einem späteren Orte vorbehalten bleibt, läßt sich doch von dem Verfahren des Abwägens, und zwar in der genauesten Form, in der es der Physiker handhabt, ein allgemeiner Begriff geben. Von der Wage wird bloß verlangt, 1) daß ihre Anzeigen constant seyen, d. h. daß sich an ihr ein früher untersuchtes Gewicht wieder erkennen lasse, und 2) daß sie eine hinreichende Empfindlichkeit besitze, d. h. daß sie Aenderungen am Gewichte, die man bei dem zu erreichenden Grade der Genauigkeit nicht vernachläßigen darf, sichtbar mache. Ist nun das Gewicht eines Körpers zu bestimmen, so bringt man ihn an die Wage, bemerkt die dadurch unmittelbar oder mit Beihülfe einer besonderen Einwirkung mittelbar hervorgerufene Indication, nimmt sodann den Körper weg, und setzt an seine Stelle, ohne an der Wage sonst etwas zu ändern, so lange Gewichte, bis der frühere Stand wieder erscheint. Die Summe dieser Gewichte ist offenbar dem Gewichte des Körpers gleich, und zeigt daher letzteres an.

51. Vergleicht man die Gewichte zweier gleichartigen Körper von verschiedenem Volum bei gleicher Wärme, so findet man, daß sie im geraden Verhältnisse mit den Rauminhalten stehen, und man kann daher dasselbe auch von ihren Massen sagen. Dieses ist aber in der Regel bei ungleichartigen Körpern nicht der Fall. Man nennt denjenigen, der unter demselben Volum mehr Gewicht hat, als ein anderer, im Einklange mit der Vorstellung, daß dieses von der größeren Menge Materie in demselben Raume herrühre, dichter, und zwar in demselben Verhältnisse, als er mehr Gewicht besitzt. Um die Dichten der Körper bequem durch Zahlen ausdrücken zu können, nimmt man die größte Dichte, welche reines Wasser haben kann (die Dichte desselben bei 3° R.), zur Einheit an, und gibt der Dichte jedes andern Körpers den Zahlwerth, welcher anzeigt, wie oft seine Masse die des Wassers unter demselben Volum in sich enthält. So drückt man z. B. die Dichte des Goldes durch 19 aus, weil ein Volum desselben 19mal mehr Masse hat, als ein gleich großes Volum Wasser. Man sagt von einem Körper, er sey gleichförmig dicht, wenn gleiche Raumtheile desselben gleich viel Masse enthalten; findet das Gegentheil Statt, so heißt er ungleichförmig dicht. Stellt man sich die Materie eines ungleichförmig dichten Körpers in seinem Volum gleichförmig vertheilt vor, so ist die daraus hervorgehende Dichte die mittlere Dichte des Körpers; diese meint man, wenn man von der Dichte im Allgemeinen spricht.

52. Es ist der Einfachheit der Formeln wegen zweckmäßig, für die Einheit der Massen, welche wir bis jetzt noch unbestimmt gelassen haben, diejenige anzunehmen, welche der Körper, dessen Dichte wir = 1 setzen, nämlich das reine Wasser im dichtesten Zustande, unter dem Volum 1 darbietet. Dieß vorausgesetzt stimmt der Zahlwerth der Dichte eines Körpers mit jenem seiner Masse unter dem Volum 1 überein,

und man hat überhaupt, wenn M die Masse, V das Volum, D die Dichte eines Körpers bedeutet, die Gleichung

$$M = VD \;.\;.\;.\; (2).$$

Hierdurch verwandelt sich die oben (49) gegebene Formel (1) in

$$P = gVD \;.\;.\;.\; (3).$$

Das Gewicht eines Körpers ohne Rücksicht auf seinen Rauminhalt nennt man sein absolutes Gewicht. Dasjenige hingegen, welches zum Vorschein kommt, wenn das Volum 1 mit Materie von der mittleren Dichte eines Körpers erfüllt wird, heißt das eigenthümliche oder specifische Gewicht dieses Körpers. Setzt man daher in (3) $V = 1$, so erhält man gD als Ausdruck für das specifische Gewicht. Bezeichnet man dieses mit S, so hat man

$$P = VS\text{, woraus } S = \frac{P}{V} \text{ und } V = \frac{P}{S} \;.\;.\;.\; (4)$$

folgt. Diese Formel gilt offenbar für jede beliebige Einheit der Gewichte. Haben für einen zweiten Körper d und s dieselbe Bedeutung, wie für den ersten D und S, so wird für einerlei Werth von g,

$$S : s = D : d,$$

oder es verhalten sich die specifischen Gewichte wie die Dichten. Ist s das specifische Gewicht des Wassers, mithin $d = 1$, so folgt aus dieser Proportion für das specifische Gewicht jedes andern Körpers die Formel

$$S = Ds \;.\;.\;.\;.\; (5)$$

und ihr gemäß aus (4)

$$P = VDs \;.\;.\;.\; (6).$$

Diese letztere Gleichung gibt $D = \frac{P}{Vs}$, und weil nach (4) Vs das Gewicht des Wassers unter dem Volum V, d. i. unter dem Volum des Körpers ausdrückt, so ist, wenn wir $Vs = p$ setzen

$$D = \frac{P}{p} \;.\;.\;.\;.\; (7).$$

Da man der Formel (5) zu Folge das specifische Gewicht eines Körpers aus seiner Dichte durch Multiplication mit einem fixen Factor erhält, so erlaubt man sich in flüchtiger Rede oft das specifische Gewicht mit der Dichte zu verwechseln.

53. Um das specifische Gewicht des Wassers zu finden, kann man ein Gefäß von genau bekanntem Inhalte v mit Wasser füllen und bestimmen, wie viel es davon dem Gewichte nach faßt. Ist dieses Gewicht $= p$, so hat man nach (4) $s = \frac{p}{v}$. So zeigt sich das Gewicht eines Wiener Kubikzolles reinen Wassers bei 3° R. = 250,56 Wiener Gran.

Das Gewicht eines Wiener Kubikfußes reinen Wassers bei 3° R. beträgt 432977,22 Wiener Gran. Die Einheit der Gewichte, welche der Formel (1) in 49 für $g = 31{,}03$ W. Fuß zum Grunde liegt, enthält daher 13953,5 W. Gran oder 1 Pf. 26 Lth. 33,5 Gr.

54. Will man die Dichte eines tropfbar flüssigen Körpers mit

jener des Wassers vergleichen, so fülle man ein Fläschchen mit genau passendem Stöpsel, ohne einen Raum leer zu lassen (zu welchem Behufe der Stöpsel einen feinen Kanal zum Austreten der Flüssigkeit haben kann), sorgfältig einmal mit Wasser, das andere Mal mit der Flüssigkeit, und bestimme jedesmal das Gewicht des Inhaltes. Die Dichte der Flüssigkeit ist nach (52,7) der Quotient der Division des letzteren Gewichtes durch ersteres, das man ein für alle Mal am Fläschchen notiren kann. Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes eines festen Körpers, der sich im Wasser nicht auflöst, suche man das Gewicht des Körpers und das Gewicht des Wassers, welches der Körper aus dem Fläschchen heraustreibt. Letzteres Gewicht erhält man, wenn man von der Summe der Gewichte des Körpers und des mit Wasser gefüllten Fläschchens das Gewicht des Fläschchens, nachdem der Körper in selbes gebracht und der übrige Raum mit Wasser ausgefüllt worden ist, subtrahirt. Das Gewicht des vom Körper verdrängten Wassers ist jenem gleich, welches in der Formel (7) mit p bezeichnet wurde, die Dichte des Körpers ist daher der Quotient aus der Division seines Gewichtes durch das Gewicht dieses Wassers. Sollte der Körper im Wasser löslich seyn, so gebrauche man statt des Wassers eine andere Flüssigkeit von bekannter Dichte d, worin er sich nicht löset. Ist P das Gewicht des Körpers, dessen Dichte D verlangt wird, p das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeit, so ist offenbar $\frac{D}{d} = \frac{P}{p}$, mithin $D = \frac{P}{p} . d$. Die Bestimmung der Dichte ausdehnsamer Flüssigkeiten wird nebst andern Methoden zur Ausmittelung der Dichte fester und tropfbarer Körper später gelehrt werden. Genaue Resultate erfordern gehörige Rücksicht auf Temperatur.

55. Vergleicht man die hier betrachteten sogenannten allgemeinen Eigenschaften der Körper unter einander, so sieht man leicht, daß selbe nicht einerlei Rang behaupten. Ausdehnung und Undurchdringlichkeit sind Bedingungen der Wahrnehmbarkeit der Körper, müssen also nothwendig bei jedem materiellen Dinge, das als solches erkannt werden soll, vorhanden seyn: Trägheit und Beweglichkeit sind wesentliche Merkmale alles Materiellen, aber nur durch Erfahrung gegeben: Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit, Theilbarkeit, Molecularanziehung und Abstoßung, und jene Wirkung in die Ferne, die man Schwere oder Gravitation nennt, sind reine Erfahrungseigenschaften, die zwar die vorhandene Beschaffenheit der Sinnenwelt wesentlich bedingen, aber zum Bestehen der Materie, wenigstens nach dem empirischen Begriffe, den wir uns von derselben machen, nicht absolut nothwendig erscheinen. Außer den vorgenannten zeigen die Körper noch manche andere Eigenschaften, die, weil man sie an allen Körpern findet, auch als allgemeine angesehen und unter denselben abgehandelt werden könnten, z. B. die Fähigkeit unter den gehörigen Umständen sichtbar zu seyn, jederzeit eine gewisse Temperatur zu besitzen, elektrisch werden zu können u. dgl. Allein man bezieht die Erscheinungen, durch

welche sich derlei Eigenschaften ankündigen, auf die Existenz eigener, in allen Körpern vorhandenen oder dieselben umgebenden Materien, und es sind solcher Ansicht gemäß die Eigenschaften dieser überall vorhandenen materiellen Wesen die Ursache des erwähnten allgemeinen Verhaltens der Körper. Man kann diese in ihren Wirkungen so deutlich sich kund gebenden, in ihrer Wesenheit so geheimnißvollen Materien der Herrschaft des Tastsinnes nicht unterwerfen, und eben so wenig an der Wage ersichtlich machen, wiewohl man denselben keine der Eigenschaften der tastbaren Materie abspricht. Man nennt dieselben in Folge dessen **unwägbare** Materien, und es ist ihrer Betrachtung der zweite Theil des vorliegenden Werkes gewidmet, während der erste sich auf die Erscheinungen beschränkt, welche lediglich durch **wägbare** Substanzen vermittelt werden.

Zweites Kapitel.

Materielle Verschiedenheit der Körper.

56. Eine nur oberflächliche Betrachtung der Körper zeigt, daß nicht alle Verschiedenheit derselben von der Verbindungsweise ihrer kleinsten Theile herrühre, sondern daß man auch **materielle**, d. h. in diesen Theilchen selbst liegende Verschiedenheiten annehmen müsse. Man bezeichnet die Materie eines Körpers, lediglich in Hinsicht auf ihre innere Beschaffenheit betrachtet, mit dem Worte **Stoff**. Wasser und Weingeist, Silber und Platin sind verschiedene Stoffe, die kein Aufmerksamer, ungeachtet des gleichen Aggregationszustandes und einer gewissen Aehnlichkeit der äußeren Erscheinung, mit einander verwechseln wird. Nicht minder gewiß ist es auch, daß verschiedene Stoffe unter günstigen Umständen sich zu einem völlig gleichartigen Ganzen mit einander verbinden, worin die Theilchen dieser Stoffe nicht unmittelbar sinnlich wahrnehmbar sind. Man nennt den Act einer solchen Vereinigung hetrogener Stoffe, wie auch das daraus entspringende Product im Allgemeinen eine **chemische Verbindung** oder **Mischung**, und die Stoffe, woraus letzteres gebildet worden, seine **chemischen Bestandtheile**. Der Grund, aus welchem die Vereinigung der Bestandtheile erfolgt, heißt überhaupt **chemische Anziehung**, **chemische Verwandtschaft** oder **Affinität**. Die Wissenschaft, welche die Stoffe hinsichtlich ihrer Affinität betrachtet, führt den Namen **Chemie**. Vergleicht man die Eigenschaften eines durch chemische Verbindung entstandenen Stoffes mit jenen seiner Bestandtheile, so geben sich zwei verschiedene Formen der chemischen Verbindung zu erkennen. Entweder trägt das Resultat der Verbindung die charakteristischen Eigenschaften der Bestandtheile an sich, oder es ist ein ganz neuer Stoff entstanden, in dessen Beschaffenheit keine Spur der Eigenschaften der Bestandtheile erkennbar ist. Im ersten Falle heißt die chemische Verbindung eine **Auflösung**, im letzteren dagegen eine **chemische Mischung**, wohl auch eine chemische Verbindung im **engern** Sinne

des Wortes. Bei einer Auflösung betrachtet man einen Stoff als den auflösenden, oder als das Auflösungsmittel, jeden andern aber als aufgelösten. Verbindet sich ein fester Körper mit einem flüssigen, so gilt letzterer als das Auflösungsmittel.

Bringt man z. B. Kochsalz in Wasser, so verschwindet das Kochsalz allmälig, und man hat eine sogenannte Kochsalzlauge vor sich, deren Eigenschaften von jenen des Wassers nur in so weit abweichen, daß dieses den Geschmack und das sonstige Verhalten des Kochsalzes angenommen hat. Hier ist also eine Auflösung des Kochsalzes im Wasser vor sich gegangen. Die Uebereinstimmung des Geschmackes der Salzlauge mit dem des Kochsalzes wird leicht begreiflich, wenn man bedenkt, daß überhaupt ein fester Körper nur in so fern auf unser Geschmacksorgan einwirkt, als sich Theile desselben im Speichel auflösen. Kommt dagegen Quecksilber mit schmelzendem Schwefel in Berührung, so verbinden sich diese Stoffe zu einer festen Substanz, welche sublimirt, d. h. in einem geräumigen Gefäße bis zum Uebergange in die ausdehnsame Form erhitzt und durch Abkühlung an den kälteren Stellen des Gefaßes wieder in die feste Form zurückgeführt, eine hochrothe Farbe annimmt. Man nennt diese Substanz Zinnober. An demselben erkennt man aber weder die Eigenschaften des Schwefels, noch die des Quecksilbers, sondern er ist als ein von beiden wesentlich verschiedener Stoff anzusehen. Hier haben sich also Schwefel und Quecksilber im strengsten Sinne des Wortes chemisch mit einander verbunden. In der Kochsalzlösung lassen sich auch mit Hülfe des besten Mikroskops die Salztheilchen nicht neben den Wassertheilchen wahrnehmen, und noch weniger ist dieß mit den Quecksilber- und Schwefeltheilchen im Zinnober der Fall, wie fein man ihn auch immer zu Pulver zerreiben mag. Auch bekommt man durch bloßes Zusammenschütteln fein gepulverten Schwefels mit Quecksilber keinen Zinnober, sondern bloß ein Gemenge, in dem die Theilchen des Quecksilbers und Schwefels neben einander gesehen werden können, und sich, wenn man das Gemenge mit Wasser behandelt, ihrer verschiedenen specifischen Schwere wegen von einander sondern, was bei dem Zinnober nicht der Fall ist.

57. Die Bedingungen der Existenz der Stoffe, welche eine chemische Verbindung eingehen, werden durch den Act der Vereinigung nicht aufgehoben, denn diese Stoffe lassen sich durch geeignete Mittel in derselben Qualität und Quantität, in welcher sie vor der Vereinigung vorhanden waren, wieder herstellen. Man nennt diese Operation, welche als eine chemische Theilung anzusehen ist, die Zerlegung oder Analyse der chemischen Verbindung.

Ueberläßt man eine Kochsalzlösung in einem offenen Gefäße sich selbst, so verdünstet, zumal bei höherer Temperatur, das Auflösungsmittel, und das Kochsalz scheidet sich in Krystallform aus. Um das Wasser selbst zu erhalten, müßte man die Kochsalzlauge in einem geschlossenen Gefäße mit einer Vorlage erwärmen, d. h. das Wasser abdestilliren. Der Zinnober wird durch Glühen an der Luft oder durch Erhitzung in Berührung mit Eisenfeile zerlegt. Der Schwefel liefert im ersten Falle dasselbe Product, das bei dem gewöhnlichen Verbrennen des Schwefels entsteht, nämlich schwefelige Säure, im zweiten dagegen verbindet er sich mit dem Eisen; das Quecksilber wird in beiden Fällen in ausdehnsamer Form frei, und kann, in einer Vorlage abgekühlt, zu seiner gewöhnlichen tropfbaren Form condensirt werden.

58. Die Möglichkeit, Stoffe, die sich chemisch verbunden haben, von einander zu trennen, führt uns bezüglich jedes gegebenen Stoffes zur Frage, ob er nicht chemische Bestandtheile enthalte, d. h. ein zusammengesetzter Stoff sey. Lassen sich diese Bestandtheile nachweisen, so kehrt hinsichtlich derselben die nämliche Frage wieder, wodurch man veranlaßt wird, zwischen den näheren und entfernteren Bestandtheilen eines Stoffes zu unterscheiden, welche letzteren durch fernere Zerlegung der ersteren sich ergeben. Offenbar läßt sich die Reihe der Bestandtheile eines Stoffes nicht in das Unendliche fortführen, sondern sie hört mit Stoffen auf, die nicht weiter zerlegbar sind. Diese können mit vollem Rechte einfache Stoffe oder Elemente genannt werden. Es ist daher ganz natürlich, daß wir in dem Fortschreiten von den näheren Bestandtheilen der Stoffe zu den entfernteren aufgehalten werden, nämlich die Zerlegung nicht weiter fortzusetzen vermögen. Indessen folgt daraus noch keineswegs, daß die Stoffe, bis zu welchen wir vordringen, die letzten, d. h. unzerlegbaren Bestandtheile eines zu analysirenden Körpers, mithin seine Elemente sind. Ja selbst wenn wir ein Element vor uns hätten, wäre es nach dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse geradezu unmöglich, einen strengen Beweis seiner Einfachheit zu führen. In so fern man einen Stoff nicht chemisch theilen kann, auch durch keine Analogie mit erwiesenen Thatsachen veranlaßt wird, ihn für zusammengesetzt zu halten, läßt man ihn oft für einen einfachen gelten und nennt ihn geradezu ein Element. Angemessener jedoch ist es, einen solchen Stoff bloß mit dem seine Natur nicht näher bestimmenden Worte Grundstoff zu bezeichnen.

Eine Salpeterlauge besteht aus Salpeter und Wasser; der Salpeter ist aus Kali und Salpetersäure, das Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzt. Letztere zwei Stoffe vermögen wir nicht weiter zu zerlegen, allein die Salpetersäure kann noch in Stickstoff und Sauerstoff, das Kali in Kalium und Sauerstoff zerlegt werden. Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kalium werden für einfache Stoffe gehalten; jedenfalls sind sie bis jetzt unzerlegt, und erscheinen somit im Verzeichnisse der Grundstoffe.

59. Damit ein Stoff als ein zusammengesetzter anerkannt werde, müssen seine Bestandtheile nachgewiesen seyn. Die Anwesenheit eines Bestandtheiles von bestimmter Art wird vornehmlich durch sein besonderes chemisches Verhalten gegen andere Stoffe, die man Reagentien nennt, erkannt. Hieraus erhellet, daß die materielle Verschiedenheit dort, wo äußere Kennzeichen fehlen, noch durch chemische Mittel ins Licht gesetzt werden kann. Der klarste Beweis der Zusammensetzung eines Stoffes wird geliefert, wenn man ihn durch wirkliche Vereinigung der aufgefundenen Bestandtheile hervorzubringen vermag; doch geht dieser Beweis in vielen Fällen nicht an, wo wir doch weder über die Art, noch über die Menge der Bestandtheile eines zerlegten Stoffes in Ungewißheit sind. Dieß gilt insbesondere von den meisten organischen Gebilden, welche unter dem Einflusse der Lebensthätigkeit

entstehen, und diesen ihre besondere Textur verdanken. So kann man kein Blut, kein Fleisch, keine Pflanzenfaser auf chemischem Wege erzeugen, ungeachtet man diese Substanzen genau zu analysiren weiß.

60. Die Wirkungen der chemischen Verwandtschaft gehen offenbar an den kleinsten Theilchen der Körper vor sich, und zwar wird die Vereinigung heterogener Theilchen durch die Trennung der homogenen bedingt. Daher sind alle Umstände, welche letztere fördern, der ersteren günstig. Ueberdieß erstreckt sich die Affinität, gleichwie die Molecularanziehung, nicht auf eine bemerkbare Entfernung, und kann demnach keine Annäherung entfernter Körper bewirken. Daher müssen die Theile, die sich chemisch verbinden sollen, mit einander in Berührung kommen. Je mehr demnach die Berührungspuncte der chemisch auf einander einwirkenden Körper vervielfältigt werden, desto lebhafter geht die Verbindung vor sich. Aus diesen allgemeinen Bemerkungen ergeben sich die Förderungsmittel der chemischen Verbindung von selbst. Sie sind 1) Flüssigmachung wenigstens eines der Stoffe, die sich verbinden sollen, falls sämmtliche fest sind. Es geht nämlich die Berührung zwischen einem flüssigen Stoffe und einem festen immer allseitiger und vollständiger vor sich, als zwischen zwei festen auch noch so fein zertheilten Stoffen; ferner setzt der flüssige Stoff der Trennung seiner Aggregattheile kein merkliches Hinderniß entgegen. Schon die alten Chemiker stellten den Erfahrungssatz auf: Corpora non agunt nisi fluida. In manchen Fällen genügt ein die Verschiebung der Körpertheile zulassender Grad von Weichheit. 2) Verkleinerung der festen Körper, denn die Summe der Oberflächen der Theile ist größer als die Oberfläche des getheilten Körpers, mithin wird so die Anzahl der Berührungspuncte vermehrt. 3) Umrühren, denn dadurch kommen Theile in Contact, die sich sonst nicht berührt hätten. 4) Temperaturerhöhung, denn diese entfernt die Aggregattheile von einander, und vermindert ihren Zusammenhang; jedoch darf die Erwärmung nicht so weit gehen, daß einer der Körper dadurch in den ausdehnsamen Zustand versetzt wird, mithin die vorherrschende Abstoßung seiner Theilchen der Affinität entgegen wirkt. 5) Gegenwart eines Stoffes, dessen Einwirkung auf die einander berührenden Stoffe mit ihrer Verwandtschaft in gleichem Sinne wirkt, sey es, daß er sich mit dem Producte ihrer Verbindung zu vereinigen strebt (sogenannte disponirende Verwandtschaft), oder daß er selbst dabei ganz unverändert bleibt (Contactsubstanzen). Dieses Mittel ist vorzüglich bei Gemengen luftförmiger Stoffe wirksam, die sich sonst nicht chemisch verbinden würden. 6) Freimachung eines Stoffes aus einer chemischen Verbindung bei unmittelbarer Berührung mit einem andern Stoffe, der zu ersterem Verwandtschaft hat (Status nascens). In diesem Falle können die frei werdenden Theilchen sich nicht zu einem Aggregate gruppiren, und sind im Zustande der größten Vertheilung. Als Hindernisse der chemischen Verbindung stellen sich somit fester Zustand, große Dichte, und in gewisser Hinsicht auch niedrige Temperatur und Gasform dar.

Kupfer und Zink verbinden sich nicht zu Messing, wenn diese Metalle in noch so fein zertheiltem Zustande gemengt werden; nur durch Zusammenschmelzen erfolgt die Vereinigung. Kohle in Pulverform verbindet sich mit Eisen zu Stahl, wenn dieses zwar nicht zum Schmelzen, aber doch so erhitzt ist, daß es weich wird, und dieser Zustand hinreichend lange anhält. Quecksilber und Sauerstoff verbinden sich bei der gewöhnlichen Temperatur der Luft nicht leicht, wohl aber bei höherer Temperatur, wenn nur diese den Siedpunct des Quecksilbers nicht erreicht; steigt jedoch die Temperatur bis zu diesem Puncte, so erfolgt keine Verbindung Stickstoff und Sauerstoff, welche beide in Gasform gemengt die atmosphärische Luft bilden, vereinigen sich nicht, ungeachtet einer bedeutenden Affinität, wohl aber, wenn der Stickstoff bei Fäulniß thierischer Stoffe im Status nascens erscheint, und eine Salzbasis, z. B. Kali, Kalk u. dgl., welche zu dem Producte der Verbindung ersterer Stoffe, nämlich zur Salpetersäure Verwandtschaft hat, gegenwärtig ist. Wasserstoffgas und Sauerstoffgas können beliebig lange gemengt erhalten werden, ohne sich mit einander zu Wasser zu verbinden; bringt man eine reine Platinplatte, oder noch besser fein zertheiltes Platin in das Gemenge, so erfolgt die Vereinigung sogleich, ohne eine am Platin wahrnehmbare Veränderung. Chlor und Stickstoff verbinden sich direct nicht mit einander, wohl aber wenn letzterer im Status nascens auftritt, wie bei Einwirkung von Chlorgas auf eine Salmiaklösung. Dichte Stoffe werden unter übrigens gleichen Umständen schwerer angegriffen als minder dichte; so greift Scheidewasser eine Silbermünze an den erhabenen, weniger zusammengepreßten Stellen leichter an, als an den vertieften, die den größten Druck ausgehalten haben; man kann durch dieses Mittel an abgegriffenen Münzen das Gepräge wieder sichtbar machen.

61. **Kräfte**, welche der Verwandtschaft der Bestandtheile eines zusammengesetzten Stoffes entgegen wirken, können, zu dem gehörigen Grade gesteigert, eine Zerlegung desselben bewerkstelligen. Solche Kräfte üben Wärme, Licht, Elektricität, ja selbst Stoffe aus, die mit dem zu zerlegenden in Berührung kommen, ohne dabei eine Veränderung zu erleiden (sogenannte K a t a l y s e. B e r z e l i u s Jahresbericht 15. 237). In der Regel aber wird die Zerlegung eines zusammengesetzten Stoffes durch die Verwandtschaft bewirkt, welche andere schicklich gewählte Stoffe gegen die Bestandtheile desselben ins Spiel setzen, d. i. durch eigentlich c h e m i s c h e M i t t e l.

Wässerige Lösungen werden durch Verdampfen des Wassers zersetzt, Chlorsilber und andere Silbersalze durch Sonnenlicht, kohlensaurer Kalk, Quecksilberoxyd durch Glühen, Wasser durch einen elektrischen Strom, Wasserstoffsuperoxyd durch bloße Berührung mit Gold oder Silber.

62. Die Zerlegung der Stoffe durch streng chemische Mittel gründet sich darauf, daß die verschiedenen Stoffe in verschiedenem Grade chemisch verwandt sind, und ihre größere oder kleinere Verwandtschaft selbst dann noch äußern, wenn sie bereits mit andern Körpern verbunden sind. Kommt nämlich zu einem Stoffe AB, d. h. zu einem solchen, dessen Bestandtheile A und B sind, ein Stoff C, welcher zu A eine größere Verwandtschaft hat, als A zu B, so erfolgt eine Zerlegung von AB und eine Vereinigung von A mit C, wodurch B ganz oder zum Theil frei wird. Weil sich C gleichsam den Stoff A ausgewählt hat, so sagt man, die Zerlegung des Körpers AB sey durch W a h l-

verwandtschaft erfolgt, und zwar durch einfache, weil hier bloß ein Stoff als wählender und einer als gewählter erscheint. Hieher rechnet man auch den Fall, wenn sich C sowohl mit A, als auch mit B verbindet, mithin die Stoffe A C und B C entstehen. Wäre aber der zweite Stoff selbst ein zusammengesetzter C D und hätte sich A mit C, B mit D verbunden, so wäre eine doppelte Wahlverwandtschaft thätig gewesen. Verbände sich in letzterem Falle A mit C, ohne daß B und D eine Verbindung eingehen, so wäre der Effect lediglich durch einfache Wahlverwandtschaft herbeigeführt worden. Es gibt auch Fälle, in welchen mehr als zwei Paare von Stoffen sich trennen und verbinden, welche man mehrfacher Wahlverwandtschaft zuschreibt.

Beispiele einfacher Wahlverwandtschaft sind: Die Zerlegung des Zinnobers, des schwefelsauren Kupferoxyds durch Eisen; des salpetersauren Kalkes durch Kali; des salpetersauren Kali's, des kohlensauren Kalkes durch Schwefelsäure. Es entsteht Schwefeleisen, schwefelsaures Eisenoxyd, salpetersaures Kali, schwefelsaures Kali, schwefelsaurer Kalk, und es wird Quecksilber, Kupfer, Kalk, Salpetersäure, Kohlensäure ausgeschieden. Ferner gehört hieher die Zerlegung des Schwefelbleies durch Chlor, wobei Chlorschwefel und Chlorblei entsteht, und die Zerlegung von schwefelsaurer Alaunerde und kohlensaurem Ammoniak in Wechselwirkung, wobei sich schwefelsaures Ammoniak bildet und Alaunerde und Kohlensäure abgesondert in Freiheit treten. Als Beispiele doppelter Wahlverwandtschaft mögen dienen die gegenseitige Zerlegung von schwefelsaurem Kali und salpetersaurem Baryt, wobei salpetersaures Kali und schwefelsaurer Baryt; oder von kohlensaurem Kali und schwefelsaurem Baryt, wobei schwefelsaures Kali und kohlensaurer Baryt erhalten werden; oder des salpetersauren Silberoxydes in Berührung mit Natriumchlorid (Kochsalz), wobei salpetersaures Natron und Chlorsilber entstehen. Eine mehrfache Verwandtschaft ist bei dem Aufeinanderwirken von essigsaurem Bleioxyd und schwefelwasserstoffsaurem Kali thätig; es wird essigsaures Kali, Schwefelblei und Wasser erzeugt.

Man kann die Zersetzung der Stoffe mittelst Wahlverwandtschaft, wiewohl nur mit Vorsicht, dazu benützen, die Verwandtschaftsgrade ihrer verschiedenen Bestandtheile zu einander kennen zu lernen. So z. B. lehrt die Erfahrung, daß schwefelsaures Ammoniak durch Natrum, schwefelsaures Natrum durch Kali, schwefelsaures Kali durch Kalk, schwefelsaurer Kalk durch Strontian zersetzt wird, mithin daß die genannten Körper nach ihrer Verwandtschaft zur Schwefelsäure so auf einander folgen: Ammoniak, Natrum, Kali, Kalk, Strontian. Doch darf man hierbei nicht vergessen, daß oft äußere Umstände die Verwandtschaftsgrade stark abändern, und entweder keine reinen oder gar keine Ausscheidungen Statt finden, wo sie den vorausgesetzten Verwandtschaftsgraden zu Folge eintreten sollten. Solche Abweichungen werden oft durch den Umstand erzeugt, daß ein Körper nicht bloß durch seine Verwandtschaft, sondern auch durch die Gesammtheit seiner kleinsten Partikel, mithin durch seine Masse wirkt, und daher das Resultat seiner chemischen Wirkung von dem Producte dieser beiden Größen (vom chemischen Momente) abhängt. Es kann darum ein Körper mit geringer Verwandtschaft und großer Masse einen andern, dessen Verwandtschaft größer, dessen Masse aber viel kleiner ist, aus seiner Verbindung vertreiben. Auf diese Weise vertreibt die Salpetersäure die viel stärkere Schwefelsäure aus ihrer Verbindung mit Kali. Aehnliche Anomalien

bewirkt ein hoher Grad von Flüchtigkeit eines Stoffes, oder die große Auflösbarkeit desselben in dem Mittel, worin er sich bildet, wohl auch die Temperatur. Deßhalb vertreibt die feuerfeste Borsäure die viel stärkere, aber flüchtige Salpetersäure aus ihren Verbindungen bei einem hohen Hitzegrade; eben so zersetzt die Weinsäure die Auflösung von salpetersaurer Kalkerde, und bildet die leicht im Wasser lösliche, weinsaure Kalkerde, wiewohl die Salpetersäure der Kalkerde näher verwandt ist, als die Weinsäure. Wie sehr die Temperatur die Verwandtschaft modificire, zeigt das bereits oben erwähnte Verhalten des Quecksilbers zum Sauerstoffe bei verschiedener Temperatur.

63. Zu Versuchen über das chemische Verhalten der Körper und ihre Zusammensetzung und Zerlegung braucht man mancherlei Geräthe und Werkzeuge, deren Inbegriff den chemischen Hausrath ausmacht. Zu diesen gehören die Oefen, in denen Kohlenfeuer, sehr häufig auch Lampenfeuer (Lampenöfen) entweder durch einen natürlichen Luftzug (Windöfen), oder durch künstlich zugeführte comprimirte Luft (Gebläseöfen) unterhalten wird, die nicht selten mit einem gewölbten Deckel und einer Kuppel (Reverberir- oder Kuppelöfen) versehen sind, und in welchen die Körper, welche man der Hitze aussetzen will, entweder im Schmelztiegel mitten zwischen die Kohlen oder oberhalb derselben in ein eigenes Gefäß (Capelle) gestellt werden. Im letzteren Falle wird der Raum, den der Körper und das ihn enthaltende Gefäß übrig läßt, der gleichförmigen Erwärmung wegen, mit feinem trockenen Sande (Sandbad) oder mit Wasser (Wasser- oder Marienbad) ausgefüllt. Nicht minder wichtig sind Gefäße von allerlei Formen und aus verschiedenem Materiale, wie z. B. gläserne, thönerne, porzellanene, metallene Kolben, Schalen, Retorten, Vorstöße, Woulfesche Flaschen im Einzelnen oder zu einem Woulfeschen Apparate verbunden, Abrauchschalen, Filtrirgefäße nebst passenden Filtrirtrichtern, Gasentwicklungsflaschen, eine pneumatische Wasser- oder Quecksilberwanne, oder statt deren auch Pepy's Gasbehälter, mit den nöthigen Recipienten und Guyton'schen Trägern etc.

Ungeachtet man heut zu Tage viel genauer arbeitet als früher, so braucht man doch nicht so viel Apparate. Insbesondere bedient man sich heut zu Tage bei chemischen Arbeiten fast durchgehends kleinerer Körpermengen, als es früher gebräuchlich war, und erzielt doch genauere Resultate (Döbereiner, zur mikrochemischen Experimentirkunst. Jena 1821. *Chemical manipulation by M. Faraday. London* 1829). Fast alle Operationen, auf welchen die Demonstration der in diesem Kapitel vorzutragenden Erscheinungen beruht, lassen sich theils mit einer einfachen Spirituslampe, theils mit einer Berzelius'schen Lampe mit doppeltem Luftzuge ausführen, wobei die Stoffe bloß in gläsernen Gefäßen behandelt werden.

64. Einer der wichtigsten Gegenstände der Forschung, welcher sich bei der Betrachtung der Affinität der Stoffe darbietet, betrifft die Mengen oder quantitativen Verhältnisse, in welchen sich die Stoffe verbinden. Als oberstes Gesetz stellt sich hier der Erfahrungssatz dar, daß das Gewicht eines zusammengesetzten Stoffes stets der Summe der Gewichte seiner Bestandtheile gleich kommt. Man kann diesen Satz

das Gesetz der **Erhaltung der Massen** der sich verbindenden Stoffe nennen. Es erscheint an sich betrachtet, wiewohl seine Wahrheit nicht a priori klar ist, dergestalt natürlich, daß man die Richtigkeit desselben von jeher vorausgesetzt und demgemäß es stets als ausgemacht angesehen hat, daß wenn bei der Zerlegung eines Körpers die erhaltenen Bestandtheile zusammengenommen weniger wiegen als der Körper vor der Zerlegung, dabei etwas verloren gegangen, dagegen wenn das Totalgewicht der erhaltenen Bestandtheile sich größer zeigt, als das Gewicht des Körpers, etwas Fremdartiges hinzugekommen seyn müsse. Hinsichtlich der relativen Menge, in welcher die Stoffe eine Verbindung eingehen, findet aber ein bedeutender Unterschied Statt, je nachdem eine Auflösung oder eine ächte chemische Verbindung vor sich geht.

65. Ein flüssiger Körper löset von einem festen eine Quantität auf, die ihrer gegenseitigen Verwandtschaft entspricht; über diese Grenze hinaus findet unter denselben Umständen keine Auflösung mehr Statt. Man sagt dann, die Auflösung sey **gesättigt**. Innerhalb des Sättigungspunctes wird aber jede beliebige Quantität des festen Körpers von der Flüssigkeit aufgelöset, und es ist demnach hier eine Verbindung der Stoffe in unbestimmten Quantitätsverhältnissen möglich. Der Sättigungspunct ändert sich meistens mit der Temperatur, und steigt mit dieser, wiewohl es auch Fälle vom Gegentheile gibt. Uebrigens nimmt eine Flüssigkeit nicht die ganze Masse, welche sie aufzulösen vermag, mit gleicher Leichtigkeit auf, sondern es verändert sich ihr Auflösungsvermögen, je näher man dem Sättigungspuncte kommt. Eine Flüssigkeit, die mit einem Stoffe gesättigt ist, kann oft noch von einem andern etwas auflösen.

100 Gewichtstheile Wasser werden bei jeder Temperatur mit 37 Theilen Kochsalz gesättigt, und können daher nie mehr, wohl aber jede beliebige geringere Quantität auflösen. Dagegen werden 100 Gewichtstheile Wasser bei 0° C. mit 13,3 Th., bei 18° C. mit 29,4 Th., bei 55° C. mit 97 Th. und bei 98° C. mit 236,5 Th. Salpeter gesättigt. Eine gesättigte heiße Salpeterlauge läßt demnach während des Abkühlens Salpeter fallen, der sich in Krystallform ausscheidet. Der Sättigungspunct des wasserfreien Glaubersalzes steigt mit der Temperatur, bis letztere 33° C. erreicht hat; über diesen Grad hinaus nimmt die Löslichkeit des Salzes ab. Eine gesättigte Kochsalzlösung kann noch Salpeter auflösen.

66. Es gibt auch Auflösungen flüssiger Stoffe in flüssigen, wie z. B. des Alkohols in Wasser. Bei solchen zeigt sich kein Sättigungspunct, und es ist meistens zwischen jeder beliebigen Quantität des einen und jeder des andern eine Verbindung möglich. Indessen kommen doch Fälle vor, wo bei gewissen Mischungsverhältnissen die Verbindung ohne Vergleich inniger ist, als bei allen andern innerhalb bestimmter Grenzen davon mehr oder minder abweichenden.

67. Viel merkwürdiger und auch viel genauer untersucht sind jene chemischen Verbindungen, bei denen die chemischen Eigenschaften der sich vereinigenden Stoffe gänzlich verschwinden. In Betreff derselben gelten folgende durch unzählige Versuche über alle Zweifel erhobene Gesetze: 1) Die Stoffe verbinden sich unter einander in einem oder in

mehreren, jedoch genau bestimmten und von allen Umständen unabhängigen Gewichtsverhältnissen. Bei Quantitäten, die diesen Verhältnissen nicht entsprechen, bleibt der Ueberschuß unverbunden. Dieß ist das Gesetz der bestimmten Verhältnisse. 2) Verbindet sich ein Stoff in mehreren Verhältnissen mit einem anderen Stoffe (wobei gänzlich verschiedene Producte erhalten werden), so stehen die Gewichtsmengen des ersten, welche einer und derselben Gewichtsmenge des zweiten entsprechen, unter einander in sehr einfachen Verhältnissen; sie verhalten sich nämlich wie die Zahlen, 1, 1½, 2, 2½, 3 u. s. w. Ist also a die geringste Gewichtsmenge des ersten Stoffes, die sich mit der gegebenen Gewichtsmenge b des zweiten verbindet, so sind die in den höheren Verbindungsstufen vorkommenden Quantitäten des ersten und zweiten Stoffes 3a und 2b, oder 2a und b, oder 5a und 2b, oder 3a und b, oder 7a und 2b, oder 4a und b, u. s. w. In allen Fällen jedoch erscheinen in der Erfahrung nur einige wenige der ersten Glieder dieser Reihe. Dieß ist das Gesetz der Vielfachen. 3) Verbinden sich von drei Stoffen je zwei unter einander, so ist das quantitative Verhältniß, in welchem sich der erste mit dem dritten verbindet, entweder aus den Verhältnissen, in welchen sich der erste mit dem zweiten und der zweite mit dem dritten vereinigt, geradezu zusammengesetzt, oder es steht mit diesen in einer sehr einfachen, dem Gesetze der Vielfachen analogen Beziehung. Verbindet sich nämlich die Gewichtsmenge a des Stoffes A mit der Gewichtsmenge b des Stoffes B; ferner die Gewichtsmenge b des Stoffes B mit der Gewichtsmenge c des Stoffes C: so verbindet sich die Gewichtsmenge a des Stoffes A entweder geradezu mit der Gewichtsmenge c des Stoffes C, oder es ist die letztere Gewichtsmenge $= \frac{1}{2}$ c, $\frac{1}{3}$ c... oder = 2 c, 3 c... Man kann dieses Gesetz auch so ausdrücken: Wenn in einer Verbindung AB bei ungeänderter Quantität des Stoffes B der Stoff C an die Stelle von A tritt, so sind die gegen einander vertauschten, oder wie man zu sagen pflegt, einander äquivalenten Quantitäten der Stoffe A und C entweder solche, in welchen sich die letzteren Stoffe verbinden können, oder diese Quantitäten folgen aus jenen durch Multiplication oder Division mit den einfachsten ganzen Zahlen. Dieß ist das Gesetz der Aequivalente. 4) Die Verhältnisse, in welchen zusammengesetzte Stoffe Verbindungen eingehen, werden durch diejenigen bedingt, in denen ihre Bestandtheile im isolirten Zustande sich mit andern Stoffen verbinden, so zwar, daß die zur Vereinigung erforderlichen Quantitäten in beiden Fällen dieselben bleiben. Es sind nämlich, z. B. wenn a, b, c, d die Gewichtsmengen bedeuten, in denen die Stoffe A, B, C, D sich unter einander verbinden, a + b und c + d, mit den durch das Gesetz der Vielfachen gestatteten Abänderungen 2a + b, 3a + b u. dgl. die Mengen, in welchen die zusammengesetzten Stoffe AB und CD eine Verbindung eingehen. Dieß ist das Gesetz der zusammengesetzten Verbindungen.

Silicium und Sauerstoff verbinden sich, so weit unsere Erfahrung reicht, *nur in einem einzigen* Verhältnisse, nämlich 277 Gewichtstheile Sili-

cium mit 300 Theilen Sauerstoff, oder es sind in 100 Theilen Kieselerde 48 Theile Silicium und 52 Theile Sauerstoff enthalten. Schwefel und Sauerstoff verbinden sich in vier Verhältnissen, nämlich 201 Theile Schwefel mit 100, 200, 250 und 300 Theilen Sauerstoff, so daß die Sauerstoffmenge in der zweiten Verbindungsstufe das Doppelte, in der dritten das 2½fache, in der vierten das 3fache der in der ersten Stufe vorhandenen ausmacht. Es verbinden sich 100 Theile Sauerstoff mit 12½ Theile Wasserstoff, ferner 100 Theile Sauerstoff mit 201 Theilen Schwefel und 201 Theile Schwefel mit 12½ Theilen Wasserstoff. Eine Folge des Gesetzes der Aequivalente ist, daß wenn eine gewisse Menge eines Stoffes M sich mit den Mengen a, b, c,... der Stoffe A, B, C,... und eben so irgend eine Menge des Stoffes N, sich mit den Mengen α, β, γ,... derselben Stoffe A, B, C... verbindet, in so fern die Glieder beider Reihen correspondirenden Verbindungsstufen angehören, die Proportion

$$a : b : c : \ldots = \alpha : \beta : \gamma : \ldots$$

Statt findet. So verbinden sich 100 Theile Sauerstoff mit 12½ Theilen Wasserstoff, 396 Th. Kupfer, 403 Th. Zink, 1352 Th. Silber, und es verbinden sich 201 Th. Schwefel wie auch 443 Th. Chlor mit eben diesen Mengen der genannten Stoffe; kein Wunder also daß sich die Quantitäten Wasserstoff, Kupfer, Zink, Silber, die mit irgend einer Menge Schwefel oder Chlor in Verbindung treten, sich unter einander verhalten, wie die Zahlen 12½, 396, 403, 1352. Doch folgt aus dem Bestehen dieser Proportion für sich allein, nicht umgekehrt das Gesetz der Aequivalente in dem oben ausgesprochenen Umfange. Wie so eben gesagt worden, verbinden sich 100 Theile Sauerstoff mit 403 Theilen Zink; das Product sind 503 Theile Zinkoxyd. Ferner verbinden sich 300 Theile Sauerstoff mit 201 Theilen Schwefel zu 501 Theilen Schwefelsäure. Dieses Quantum Schwefelsäure ist mit dem vorgenannten Quantum Zinkoxyd genau verbindungsfähig und liefert $501 + 503 = 1004$ Theile schwefelsaures Zinkoxyd. 100 Theile Sauerstoff geben mit 396 Theilen Kupfer 496 Theile Kupferoxyd; auch diese verbinden sich mit 501 Theilen Schwefelsäure zu 997 Theilen schwefelsaures Kupferoxyd (Kupfervitriol).

68. Die so eben angeführten Gesetze gestatten jedem Stoffe eine gewisse Zahl beizulegen, deren Vielfachen oder aliquoten Theilen das Gewicht, mit dem er in Verbindungen eingeht, proportional ist. Man nennt diese Zahl sein Mischungsgewicht oder Aequivalent. Ist nun bekannt, wie viele Aequivalente jedes der Bestandtheile zur Bildung eines zusammengesetzten Stoffes mitwirken, so läßt sich mit Hülfe einer Tabelle der Mischungsgewichte sämmtlicher einfacher Stoffe die Zusammensetzung jedes andern berechnen. Es lassen sich die Mischungsgewichte und die Zusammensetzungsformeln so wählen, daß nur Vielfache, nicht aber auch Bruchtheile der Aequivalente, in Rechnung kommen, und da es sich lediglich um Verhältnisse von Mengen, nicht um absolute Bestimmungen handelt, so kann das Mischungsgewicht eines beliebigen Stoffes = 1, oder wenn man lieber will = 100 gesetzt werden.

Man kann den obigen Beispielen gemäß das Mischungsgewicht des Sauerstoffes = 100, des Wasserstoffes = 12,5, des Schwefels = 201, des Kupfers = 396, des Zinks = 403 u. s. w. setzen. Um daher die Zusammensetzung des Kupfervitriols zu berechnen, muß man wissen, daß er aus Schwefelsäure und Kupferoxyd besteht; daß zur Bildung der

Schwefelsäure 1 Aequivalent Schwefel und 3 Aequivalente Sauerstoff, zur Bildung des Kupferoxydes 1 Aequivalent Kupfer und 1 Aequivalent Sauerstoff erforderlich sind; somit ergeben sich für 997 Kupfervitriol 496 Theile Kupferoxyd und 501 Theile Schwefelsäure. Die englische Schwefelsäure besteht im concentrirten Zustande aus 1 Aequivalent Schwefelsäure in Verbindung mit einem Aequivalent Wasser, letzteres enthält 1 Aequivalent Wasserstoff und 1 Aequivalent Sauerstoff, daher ist das Aequivalent des Wassers = 12,5 + 100 = 112,5 und somit jenes der englischen Schwefelsäure = 613,5. Da hierin offenbar 201 Theile Schwefel vorkommen, so läßt sich demnach leicht angeben, daß zur Erzeugung von 100 Pfund englischer Schwefelsäure 33 Pfund Schwefel nöthig sind.

Die Aequivalente lassen gewissermaßen auf die chemische Wirksamkeit der Stoffe schließen, indem ein Stoff für desto kräftiger gelten muß, in je geringerer Quantität er die chemischen Eigenschaften einer großen Menge jedes anderen Stoffes aufhebt. Es stehen sonach die chemischen Kräfte der Stoffe im verkehrten Verhältnisse ihrer Mischungsgewichte. Wie das später (73) folgende Verzeichniß ausweiset, ist unter den Grundstoffen der Wasserstoff der kräftigste, das Uranmetall der schwächste. Dieser Umstand hat einige Chemiker bewogen, das Aequivalent des Wasserstoffes = 1 zu setzen. Bei dieser Annahme wird also das Mischungsgewicht des Sauerstoffes = 8, des Schwefels = 16, des Kupfers = 31,7, des Zinks = 32,3 u. s. w.

69. Daß die physische Beschaffenheit eines zusammengesetzten Stoffes von der Natur seiner Bestandtheile abhängt, ist wohl eine klare Sache; allein sehr merkwürdig ist es, daß diese Abhängigkeit hinsichtlich mancher Eigenschaften durch äußerst einfache Gesetze geregelt wird. Hier wollen wir nur die Abhängigkeit des Volums (und in Folge dessen auch der Dichte) der Verbindung von den Rauminhalten der Bestandtheile näher in das Auge fassen, weil dieser Gegenstand mit den so eben vorgetragenen Verbindungsgesetzen im Zusammenhange steht. Wenn sich Stoffe in Gasform zu einem gasförmigen Producte verbinden, und sämmtliche Gase bei gleicher Spannkraft und gleicher Temperatur betrachtet werden, so stehen, wie Gay-Lussac entdeckt hat, die Rauminhalte der Bestandtheile unter einander und der Rauminhalt des Productes zur Summe der Rauminhalte der Bestandtheile in höchst einfachen Verhältnissen. Sind nämlich v und v' die Volumina der Bestandtheile und V das Volum des Productes, so ist entweder $v' = v$ oder $v' = 2v$ oder $v' = 3v$ u. s. w. und dabei entweder $V = v + v'$ oder $V = \frac{1}{2}(v + v')$ oder $V = \frac{1}{3}(v + v')$ u. dgl. Daß, wo mehrere Verbindungsstufen vorkommen, die Rauminhalte der wechselnden Quantitäten desselben Bestandtheils in einfachen Verhältnissen, nämlich: wie die Zahlen 1, 2, 3 ꝛc. fortschreiten, folgt aus dem oben erklärten Gesetze der Vielfachen; das Eigenthümliche der gasförmigen Verbindungen liegt aber in der Einfachheit des Verhältnisses der Rauminhalte der verschiedenen Bestandtheile unter einander und des Productes zum Totalvolum der Bestandtheile. Der zweite Theil dieses Gesetzes hat neuerlich, besonders durch Schröder, eine unerwartete Ausdehnung auf die nicht gasförmigen Verbindungen erhalten. Es seyen nämlich v und v' die Volumina, mit welchen zwei

feste oder tropfbar flüssige Stoffe ihre Verbindung eingehen und V das Volum des Productes, so ist in vielen Fällen $V = v + v'$ im Allgemeinen aber $V = \alpha v + \beta v'$ wo α, β einfache, ganze oder gebrochene Zahlen vorstellen. Die Volumina ergeben sich, wenn man die Massen der Stoffe durch ihre Dichten, oder die absoluten Gewichte durch die specifischen dividirt (52). Da es sich hier lediglich um Verhältnisse handelt, so kann man für die Volumina im Allgemeinen die Quotienten setzen, welche aus der Division des Mischungsgewichtes durch die Dichte entspringen und jeden solchen Quotienten Aequivalentvolum nennen. Für Stoffe, die man nur im gasförmigen Zustande kennt, muß, wo sie in nichtgasförmige Verbindungen eintreten, das Aequivalentvolum vorläufig indirect aus einigen der Verbindungen selbst abgeleitet werden. In den bisher zu Stande gebrachten Formeln für die Aequivalentvolumina der verschiedenartigsten Verbindungen liegt in so ferne noch eine große Unsicherheit, daß mehrere gleich einfache Annahmen den Erfahrungsresultaten Genüge leisten; allein die Thatsache, daß hier einfache Beziehungen Statt haben, ist außer Zweifel gesetzt. (Schröder in Pogg. Ann. 50, 553; Kopp ebd. 47, 133; 52, 243.)

1 Volum Stickgas verbindet sich mit 1 Vol. Sauerstoffgas zu 2 Vol. Stickstoffoxydgas; 2 Vol. Stickgas und 1 Vol. Sauerstoffgas geben 2 Vol. Stickstoffoxydulgas; 1 Vol. Stickgas und 3 Vol. Wasserstoffgas geben 2 Vol. Ammoniakgas. — Das Aequivalent des Zinkoxydes ist wie oben gezeigt wurde = 503; die genauere Angabe ist 503, 226. Die Dichte desselben ist nach genauen Versuchen = 5,432, mithin das Aequivalentvolum = 503,226 : 5,432 = 92,6. Das Aequivalent des Zinks selbst ist 403,226, die Dichte = 6,861, daher das Aequivalentvolum = 58,8. Das Zinkoxyd besteht aus Zink und Sauerstoff. Wird vom Aequivalentvolum des Zinkoxydes jenes des Zinkes abgezogen, so bleibt 92,6 — 58,8 = 33,8 für das Aequivalentvolum des Sauerstoffes. Legt man dieses der Berechnung des Aequivalentvol. anderer Metalloxyde zum Grunde, so findet man mit der Erfahrung übereinstimmende Resultate.

70. Da die Erscheinungen, durch welche sich die Verwandtschaft der Stoffe kund gibt, nicht aus anderen Erscheinungen erklärt werden können, so schreibt man selbe der Wirksamkeit einer Kraft zu, die den Molecularkräften ähnlich, die kleinsten Körpertheile beherrscht, ja deren Effecte mit jenen der eben genannten, die Aggregationsform bedingenden Kräfte in einer gewissen Beziehung stehen. Man nennt sie chemische Anziehungskraft. Die nähere Vorstellung, die man sich von derselben zu machen hat, hängt von der Ansicht ab, zu der man sich in Betreff des Herganges einer chemischen Verbindung bekennen mag. In so fern das Product einer chemischen Vereinigung heterogener Stoffe durch und durch als ein gleichartiges Ganzes erscheint, woran man oft nicht die geringste Spur der Eigenschaften der Bestandtheile wahrnimmt, sollte man meinen, es seyen auch die kleinsten Theilchen der in Verbindung tretenden Stoffe aufgehoben und aus denselben ganz neue Theilchen gebildet worden. In der That haben manche Naturforscher eine wechselseitige Durchdringung der Theilchen

während des Actes der chemischen Verbindung, eine neue Anordnung der anziehenden und abstoßenden Kräfte, aus deren Conflict die Materie selbst hervorgehen soll, angenommen. Allein die Gesetze der chemischen Verbindung, namentlich jene, welche die Massenverhältnisse betreffen, deuten an, daß man um die chemische Verbindung heterogener Stoffe zu begreifen, nicht bis auf das letzte Substrat der Materie einzudringen braucht. Man kann sich nämlich vorstellen, daß die Molekel der Körper selbst aus kleineren Theilchen bestehen, deren materielle Verschiedenheit die Verschiedenheit der Stoffe bedingt und deren verschiedenartige, durch die ihnen eigenen Kräfte hervorgerufene Nebeneinanderlagerung den Grund der mannigfaltigen chemischen Verbindungen in sich trägt. Diese kleineren Theilchen, die man, wenn ja eine weitere Hypothese über ihre Natur am Platze ist, noch immerhin dynamisch, d. i. durch einander hemmende Kräfte gebildet denken kann, heißen Atome, nicht als wolle man durch diese Benennung ihre Untheilbarkeit voraussetzen, sondern nur um anzudeuten, daß man selbe als für sich bestehende Einheiten betrachten und daher nicht weiter theilen wolle. Man geräth daher in gar keinen Widerspruch, wenn man von einfachen Atomen als letzten Theilchen der chemisch unzerlegbaren Stoffe, und von zusammengesetzten Atomen, die durch eine gewisse Gruppirung einfacher Atome entstehen, spricht, wie es in dem gegenwärtig von den Naturforschern fast allgemein angenommenen atomistischen Systeme zu geschehen pflegt. Die Molecularkräfte müssen nach diesem Systeme als zusammengesetzte, aus der Gesammtwirkung der ein Molekel bildenden Atome hervorgehende Kräfte betrachtet werden. Hieraus erklärt sich nicht nur der Einfluß, den die materielle Beschaffenheit eines Stoffes auf seine Aggregationszustände ausübt, sondern auch alle oben angeführten Gesetze über die quantitativen Verhältnisse chemischer Verbindungen sind eine nothwendige Folge der Juxtaposition der Atome. Die Auflösung eines Stoffes in einem anderen wird augenscheinlich durch geringere chemische Kräfte bewirkt, als eine Verbindung in der die Bestandtheile ihre charakteristischen Eigenschaften eingebüßt haben. Man erklärt die Auflösung ganz befriedigend durch ein solches Nebeneinandertreten der Theilchen, wobei die Atomgruppen, welche die Natur der Bestandtheile bestimmen, noch beisammen bleiben; die chemische Verbindung im engeren Sinne wird aber aus der Vermengung der verschiedenartigen Atome abgeleitet. Die Gesetze dieser Verbindungen lassen sich hieraus gleichsam a priori vorhersagen. Es kann sich nämlich entweder 1 Atom des ersten Stoffes mit 1 Atom des zweiten gruppiren, oder 2 Atome des einen mit 1 Atom des andern, oder 2 Atome mit 3 Atomen u. s. w., wodurch das Gesetz der bestimmten Verhältnisse zugleich mit jenem der Vielfachen von selbst gegeben ist. Nicht minder klar erscheint das Gesetz der Aequivalente und der zusammengesetzten Verbindungen, denn jeder Stoff kann nur durch seine Atome auftreten, deren Gesammtgewicht das Gewicht des Stoffes selbst ist.

71. Da die Mischungsgewichte zweier Stoffe den Quantitäten

proportional sind, in welchen diese Stoffe sich verbinden, wie klein immer diese Quantitäten seyn mögen, so kann man in Gedanken bis zu den kleinsten Atomgruppen fortgehen und demnach das Verhältniß der Gewichte dieser Gruppen dem Verhältnisse der Mischungsgewichte gleich setzen. Enthalten also die mit einander in Verbindung tretenden Quantitäten zweier einfachen Stoffe gleich viel Atome, so verhalten sich die Gewichte eines Atoms des einen und des andern Stoffes gerade wie die Mischungsgewichte, und man kann in diesem Falle die Mischungsgewichte als die relativen Atomgewichte der Stoffe betrachten. Sollte aber der eine Stoff doppelt so viele Atome als der andere enthalten, dann wären die Mischungsgewichte nicht mehr die relativen Atomgewichte, sondern das Mischungsgewicht des einen Stoffes wäre doppelt so groß als sein Atomgewicht und eben so in anderen Fällen. Obgleich man durch nichts genöthigt wird sich in derlei Betrachtungen einzulassen, da es völlig genügt, bei der durch die Erfahrung gegebenen Thatsache der Mischungsgewichte stehen zu bleiben, so haben doch neuere Chemiker die Atome selbst in Erwägung gezogen, deren relative Gewichte nach mehr oder weniger plausiblen, an sich aber völlig willkürlichen Voraussetzungen angenommen und hierauf eine chemische Sprache und Bezeichnung der Verbindungen gegründet, von welcher, da sie bereits allgemein geworden ist, es nicht räthlich seyn dürfte, ohne dringende Nothwendigkeit abzugehen. Man nennt den Inbegriff der erwähnten Annahmen und die auf sie basirte Methode zur Berechnung der quantitativen Verhältnisse chemischer Verbindungen die Stöchiometrie, und belegt die Mischungs- und Atomgewichte mit der gemeinschaftlichen Benennung stöchiometrische Zahlen.

Bei der Festsetzung der Atomgewichte wird angenommen, daß einfache Stoffe in Gasform bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur unter einerlei Volum gleichviel Atome enthalten. Es verhalten sich daher die Atomgewichte wie die Dichten dieser Gase und die Anzahl der in eine Verbindung eingehenden Gasvolume zeigt zugleich die Anzahl der Atome an. Es verhält sich z. B. die Dichte des Sauerstoffgases zur Dichte des Wasserstoffgases unter gleichen Umständen wie 11026 : 688; ein gleiches Verhältniß legt man daher den Atomgewichten des Sauerstoffes und Wasserstoffes bei. Nimmt man nun, wie es üblich ist, das Atomgewicht des Sauerstoffes = 1 oder = 100, so ergibt sich das Atomgewicht des Wasserstoffes aus der Proportion 11026 : 688 = 1 : x mithin = 0,062398 oder = 6,2398. Da aus der Vereinigung von 2 Vol. Wasserstoff und 1 Vol. Sauerstoff Wasser entsteht, so läßt man 1 Atom Wasser aus 2 Atom Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff zusammengesetzt seyn. Ein ähnlicher Weg kann sogar zur Bestimmung des Atomgewichtes eines Stoffes dienen, der nicht in Gasform vorzukommen pflegt, wie z. B. des Schwefels. Man weiß, daß 1 Vol. Wasserstoffgas mit der nöthigen Quantität Schwefel verbunden 1 Volum Schwefelwasserstoffgas gibt; legt man diesem letzteren Stoffe eine ähnliche Zusammensetzung wie dem Wasser bei, so daß 1 Atom desselben 2 Atome Wasserstoff und 1 Atom Schwefel enthält, so folgt aus dem Umstande, daß die Dichte des Schwefelwasserstoffgases zu jener des Wasserstoffes sich wie 11778 : 688 verhält, zur Bestimmung des Atomgewichtes der Schwefelwasserstoffsäure die Proportion

11778 : 688 = x : 6,2398 × 2 woraus x = 213,64 wird. Zieht man hievon das doppelte Atomgewicht des Wasserstoffes ab, so hat man 213,64 — 12,48 = 201,16 für das Atomgewicht des Schwefels. In anderen Fällen muß man zu noch künstlicheren Betrachtungen seine Zuflucht nehmen, in welche man nach Bedürfniß mancherlei willkürliche Voraussetzungen verwebt.

Die Stöchiometrie ist eine der neueren Acquisitionen der Chemie; die erste Spur ihrer Begründung geht nicht über das Jahr 1777 hinaus, zu welcher Zeit Wenzel, ein deutscher Chemiker, auf die bestimmten Verhältnisse der sich verbindenden Körper aufmerksam gemacht und gesucht zu haben scheint sie durch Versuche zu begründen; doch erst Richter hat sich im Jahre 1796 darüber bestimmt ausgesprochen und sie aus des ersteren Versuchen nachgewiesen. Er fand aber bei seinen Zeitgenossen wenig Eingang, theils weil seine eigenen Versuche wenig Genauigkeit besaßen, theils weil Lavoisier's damals neue Schöpfung im Gebiete der Chemie die Aufmerksamkeit der ganzen gelehrten Welt in Anspruch genommen hatte, und so blieb die Sache auf sich selbst beruhen, bis Proust (1804) die Verbindung der Metalle mit Sauerstoff und Schwefel in bestimmten Verhältnissen gegen Berthollet's Behauptungen in Schutz nahm. Während des hierüber zwischen beiden mit vieler Mäßigung und tiefer Gründlichkeit geführten Streites machte Gay-Lussac die wichtige Entdeckung, daß sich Gase stets in sehr einfachen Raumverhältnissen mit einander verbinden, ein Verhalten, das schon früher Dalton, der Gründer der neueren Atomistik, gemuthmaßt hatte. Endlich hat der große Chemist Berzelius seine Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand gerichtet, und ihn durch höchst genaue und sinnreiche Versuche so fest begründet, daß alle Zweifel darüber verstummen mußten. (Wenzel, Lehre von der Verwandtschaft, Dresden 1777; Richter über die neueren Gegenstände der Chemie, Berlin 1796—1798; Proust in Gilbert's Annalen, 25, 266; Gay-Lussac ebend. 36, 5; die Philosophie der Chemie von Dumas, Berlin 1839.)

72. Um die Bestandtheile der Stoffe und deren Verbindungsweise möglichst kurz anzeigen zu können, hat man eine eigene chemische Zeichensprache eingeführt, nach welcher jeder Grundstoff mit dem Anfangsbuchstaben seines lateinischen Namens, und daher Sauerstoff (Oxygenium) mit O, Phosphor mit P ꝛc. bezeichnet wird; nur wo eine Zweideutigkeit zu vermeiden ist, setzt man zu diesem noch den nächsten charakteristischen Buchstaben des Namens. Daher bedeutet Fe Eisen (Ferrum), Sb Antimon (Stibium), um ersteres vom Fluor F, letzteres vom Schwefel S, vom Zinn Sn (Stannum), vom Kiesel Si (Silicium) ꝛc. zu unterscheiden. Selbst manche zusammengesetzte Stoffe, die sich den einfachen analog verhalten, werden durch eigene Zeichen angedeutet, z. B. Cyan durch Cy. Diese Zeichen bedeuten zugleich, wenn es sich um quantitative Bestimmungen der Bestandtheile eines Stoffes handelt, Atomgewichte. Unmittelbare Verbindungen der Grundstoffe werden durch unmittelbares Zusammenstellen der Zeichen ihrer Bestandtheile angedeutet, wobei man, wenn in einer Verbindung von einem Bestandtheile mehrere Atome vorkommen, ihre Anzahl durch einen Exponenten, oder wie man es gegenwärtig fast durchgehends in den besten chemischen Werken thut, durch eine dem Zeichen des einfachen Stoffes unten angehängte Zahl anzeigt. Bei Ver-

bindungen zusammengesetzter Stoffe werden die nächsten Bestandtheile durch das Zeichen + zu einem Ganzen verbunden, und dem Zeichen eines zusammengesetzten Bestandtheiles, wovon mehr als ein Atom in die Verbindung eingeht, ein Coefficient, der die Anzahl der Atome angibt, vorgesetzt. So bedeutet KO Kaliumoxyd, d. i. eine Verbindung von 1 Atom Kalium mit 1 Atom Sauerstoff, H_2O Wasser, d. i. eine Verbindung von 2 Atomen Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff, SO_3 Schwefelsäure (wasserfreie), d. i. die Verbindung von 1 Atom Schwefel mit 3 Atomen Sauerstoff; dagegen zeigt $SO_3 + H_2O$ englische Schwefelsäure an, welche aus 1 Atom Schwefelsäure und 1 Atom Wasser besteht, $CaO + SO_3 + 2H_2O$ krystallisirten Gips, d. i. 1 Atom schwefelsaurer Kalk mit 2 Atomen Wasser verbunden.

Um die Länge der Formeln, vornehmlich jener für complicirte Zusammensetzungen zu vermindern, bezeichnet Berzelius die Sauerstoff-Atome ihres häufigen Vorkommens wegen durch Puncte, die Schwefel-Atome durch Accente, welche über das Zeichen des einfachen Stoffes, mit welchem der Sauerstoff oder Schwefel verbunden ist, gesetzt werden; ferner Doppel-Atome eines einfachen Stoffes, indem er durch den Anfangsbuchstaben desselben einen Querstrich führt. Organische Säuren deutet er durch den Anfangsbuchstaben ihres lateininischen Namens mit einem darüber gesetzten Querstriche an. So bedeutet nach dieser kürzeren Bezeichnung $\dot{K}$ Kaliumoxyd, $\dot{Ħ}$ Wasser, $\dddot{S}$ Schwefelsäure (wasserfreie), $\dddot{S}\dot{Ħ}$ englische Schwefelsäure, $\overline{A}$ Essigsäure (Acidum aceticum) u. s. w.

73. Grundstoffe kennt man bis jetzt 55. Man benennt sie theils nach einzelnen Eigenschaften, theils nach einem bemerkenswerthen Umstande in der Geschichte ihrer Entdeckung; mehrere führen ganz willkürlich gewählte Namen, und für jene, die seit den ältesten Zeiten bekannt sind, und im gemeinen Leben vorkommen, hat man die allgemein gangbaren Benennungen beibehalten. Man hat zur Erleichterung der Uebersicht schon mehrere Eintheilungen der Grundstoffe versucht; keine genügt allen Anforderungen. Vor der Hand dürfte es am geeignetsten seyn und das Studium am meisten erleichtern, wenn man die gesammten Grundstoffe in Gruppen theilt, die man nach der chemischen Beschaffenheit ihrer Verbindungen bildet. Dadurch erreicht man den Vortheil, daß die Kenntniß der Verbindungen eines Gliedes einer Gruppe, einen Vorbegriff von dem Charakter der Verbindungen der anderen Glieder gibt. Solche Gruppen lassen sich füglich nachstehende vierzehn annehmen, in welchen dem Namen jedes Grundstoffes das Zeichen desselben und sein Atomgewicht nach der Angabe von Berzelius (Lehrbuch der Chemie, dritte Auflage 5. Bd. S. 104—128) beigefügt ist. Das Atomgewicht des Sauerstoffes ist dabei = 100,000 gesetzt.

I. Nicht metallische Grundstoffe (Metalloide).

1. Gruppe.	1. Sauerstoff	O	= 100,000	Die Bestandtheile der organischen Stoffe.
	2. Wasserstoff	H	= 6,2398	
	3. Stickstoff	N	= 88,518	
	4. Kohlenstoff	C	= 76,438	

2. Gruppe.	5.	Chlor	Cl	= 221,326	Haloide (Salzbilder).
	6.	Brom	Br	= 489,153	
	7.	Jod	J	= 789,750	
	8.	Fluor	F	= 116,900	
3. Gruppe.	9.	Schwefel	S	= 201,165	
	10.	Selen	Se	= 494,583	
	11.	Phosphor	P	= 196,143	
4. Gruppe.	12.	Kiesel	Si	= 277,312	
	13.	Bor	B	= 136,204	

II. Metalle.

A. Leichte Metalle.

5. Gruppe.	14.	Kalium	K	= 489,916	Metalle der Alkalien.
	15.	Natrium	Na	= 290,897	
	16.	Lithium	L	= 80,375	
6. Gruppe.	17.	Baryum	Ba	= 856,880	Metalle der alkalischen Erden.
	18.	Strontium	Sr	= 547,285	
	19.	Calcium	Ca	= 256,019	
	20.	Magnium	Mg	= 158,352	
7. Gruppe.	21.	Aluminium	Al	= 171,166	Metalle der eigentlichen Erden.
	22.	Glycium	G	= 331,261	
	23.	Zirkonium	Zr	= 420,201	
	24.	Yttrium	Y	= 402,514	
	25.	Thorium	Th	= 744,900	

B. Schwere Metalle.

8. Gruppe.	26.	Arsen	As	= 470,042
	27.	Tellur	Te	= 801,760
	28.	Antimon	Sb	= 806,452
9. Gruppe.	29.	Tantal	Ta	= 1153,715
	30.	Titan	Ti	= 303,662
	31.	Wolfram	W	= 1183,000
10. Gruppe.	32.	Molybdän	Mo	= 598,520
	33.	Vanadin	V	= 855,840
	34.	Chrom	Cr	= 351,815
11. Gruppe.	35.	Osmium	Os	= 1244,487
	36.	Rhodium	R	= 651,387
	37.	Palladium	Pd	= 665,899
	38.	Iridium	Ir	} = 1233,499
	39.	Platin	Pt	
	40.	Gold	Au	= 1243,013
	41.	Silber	Ag	= 1351,607
	42.	Quecksilber	Hg	= 1265,823
	43.	Kupfer	Cu	= 395,695

12. Gruppe.	44.	Uran	U	=2711,358
	45.	Zinn	Sn	= 735,296
	46.	Wismuth	Bi	= 886,920
13. Gruppe.	47.	Blei	Pb	=1294,498
	48.	Cadmium	Cd	= 696,767
	49.	Zink	Zn	= 403,226
14. Gruppe.	50.	Nickel	Ni	= 369,675
	51.	Kobalt	Co	= 368,991
	52.	Eisen	Fe	= 339,205
	53.	Mangan	Mn	= 345,887
	54.	Cer	Ce	} nicht genau bekannt.
	55.	Lanthan	La	} nicht genau bekannt.

Ce wurde früher von Berzelius = 574,796 angesetzt. Das bisher für reines Cer gehaltene Metall ist ein Gemenge aus Cer und Lanthan.

Wenn es nur auf angenäherte Bestimmungen ankommt, wobei man lieber mit einfachen Zahlen rechnet, wie auch zur Erleichterung des Gedächtnisses beim Kopfrechnen, ist es bequem, das Doppelatom des Wasserstoffes H_2 welches stets als das eigentliche Aequivalent dieses Stoffes auftritt, als Einheit anzunehmen, und die Zahlen für jene Stoffe, die in Doppelatomen in den Verbindungen erscheinen, zu verdoppeln, d. h. ihre Aequivalente an die Stelle der Atomgewichte zu setzen. Hier folgen die am häufigsten in Anwendung kommenden Aequivalente, nach ihrer Größe geordnet. Vor den Namen der Stoffe, deren Doppelatome genommen wurden, steht das Zeichen *.

* Wasserstoff	1	Zink	32,3
Kohlenstoff	6	* Chlor	35,5
Sauerstoff	8	Arsen	37,7
Bor	11	Kalium	39,2
Magnium	12,7	Zinn	59
Aluminium	13,7	Antimon	64,6
* Stickstoff	14	Barium	68,7
Phosphor	15,7	Wismuth	71
Schwefel	16	* Brom	78,4
* Fluor	18,7	Platin	98,8
Calcium	20,5	Gold	99,6
Kiesel	22,2	Quecksilber	101,4
Natrium	23,3	Blei	103,7
Eisen	27	Silber	108,3
Kupfer	31,7	* Jod	126,5

74. Aus den hier angeführten Grundstoffen bestehen alle Körper, sowohl der unorganischen, als der organischen Natur, und zwar durch die Mannigfaltigkeit der Verbindung dieser Grundstoffe. Es können zwei, drei und mehre verschiedene Grundstoffe eine Verbindung eingehen. Verbindungen zweier Stoffe heißen binäre, dreier ternäre u. s. w. So ist Salpetersäure, aus Stickstoff und Sauerstoff bestehend eine binäre; Zucker, dessen Bestandtheile Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff sind, eine ternäre Verbindung. Aber derlei

Verbindungen combiniren sich sowohl mit Grundstoffen als auch mit zusammengesetzten zu neuen Gebilden. Man kann zur bequemen Uebersicht mehrere Ordnungen von Verbindungen unterscheiden; unmittelbare Verbindungen von Grundstoffen zur ersten Ordnung, Verbindungen von Gliedern der ersten Ordnung zur zweiten zählen u. s. f. Nur muß man bei diesem Geschäfte zur Vermeidung von Widersprüchen und Verwirrung an irgend einer Richtschnur fest halten. Eine ternäre Verbindung ABC kann nämlich eben so gut zur ersten, als zur zweiten Ordnung gerechnet werden, weil man sie auch dadurch entstanden denken kann, daß sich eine Verbindung von B mit einem Theile von A, und die Verbindung von C mit dem andern Theile von A unter einander vereinigt haben, u. dgl. m. Am besten ist es hiebei, auf die Fingerzeige der Natur selbst zu achten. Die Erfahrung lehrt eine Menge zusammen gehörender Fälle kennen, in welchen sich einfache Stoffe mit binären Zusammensetzungen nicht verbindungsfähig zeigen, z. B. Metalle und Säuren; erstere müssen Sauerstoff oder einen Stellvertreter aufnehmen, um mit Säuren Salze zu geben. Hier kann man wohl die Salze als Verbindungen zweiter Ordnung gelten lassen, da die Verbindung des Metalles mit dem Sauerstoff und die Säure, als binäre Stoffe, füglich zur ersten Ordnung gehören. Andererseits erscheinen gewisse binäre Verbindungen von Grundstoffen nicht bloß mit einzelnen Grundstoffen verbindungsfähig, sondern in ihrem ganzen chemischen Verhalten den Grundstoffen selbst dergestalt analog, daß man, wo es auf Zusammenstellung des Aehnlichen ankommt, sich genöthigt sieht, diese zusammengesetzten Stoffe mit den einfachen in eine Linie zu setzen. Ein solcher Stoff ist das Cyan, aus Stickstoff und Kohlenstoff hervorgehend, das mit Sauerstoff und Wasserstoff, so gut wie Chlor und Schwefel, Säuren liefert, und sich mit den Metallen so wie die genannten Grundstoffe verbindet. Da man einen gemeinschaftlichen Bestandtheil einer Reihe von Zusammensetzungen, deren Mannigfaltigkeit nur auf dem Wechsel eines anderen Bestandtheiles beruht, recht passend mit dem Worte Radical bezeichnet, so unterscheidet man einfache Radicale (Grundstoffe) von zusammengesetzten (den Grundstoffen analogen), und da merkwürdiger Weise die organischen (d. h. in Gebilden des Pflanzen- und Thierreiches vorfindigen oder damit zusammenhängenden) Stoffe auf Verbindung zusammengesetzter, wenn gleich meistens nicht isolirt darstellbarer, also bloß hypothetisch angenommener Radicale mit andern Stoffen beruhen, so hat man dadurch zugleich einen sicheren Anhaltspunct zur Abtheilung der Chemie in ihre zwei Haupttheile, nämlich in die unorganische und in die organische Chemie, deren erstere, die aus einfachen, die letztere aber die aus zusammengesetzten Radicalen entspringenden Verbindungen untersucht.

Es zeigten sich Fälle, daß Stoffe von gänzlich verschiedenen chemischen Eigenschaften aus denselben Elementen, nicht nur nach demselben quantitativen Verhältnisse, sondern auch mit demselben Atomgewichte und sogar mit derselben Zusammensetzungsform gebildet schienen. Man

nannte solche Stoffe isomerische. Ihre Existenz wäre nur durch die Annahme einer Verschiedenheit in der Stellung der Atome begreiflich. Doch ist in neuerer Zeit die Isomerie sehr in Zweifel gezogen worden, da genauere Untersuchungen die Annahme identischer Bildung bei den bisher als isomer aufgeführten Stoffen, als: den Formen der wasserhältigen Phosphorsäure; der Cyan- und Knallsäure &c. widerlegten. Dagegen kann in verschiedenen Stoffen dasselbe quantitative Verhältniß der Bestandtheile bei verschiedenen Atomgewichten sehr wohl bestehen. So ist z. B. Citronenöhl $C_{10}\ H_{16}$, Terpentinöhl $C_{20}\ H_{32}$. Derlei Stoffe nennt man polymerische. Eben so können zwei aus verschiedenen Elementengruppen gebildete und daher verschiedene Stoffe, dieselben Elemente mit denselben Atomgewichten ausweisen, z. B. Ameiseneſſigäther $C_4\ H_{10}\ O + C_2\ H_2\ O_3$ und Methylessigäther $C_2\ H_6\ O + C_4\ H_6\ O_3$, welche beide als $C_6\ H_{12}\ O_4$ erscheinen, aber ihre verschiedene Zusammensetzung durch ihre Zerlegungsproducte beurkunden. Derlei Stoffe heißen metamerische. Polymerische und metamerische Stoffe finden sich vornehmlich unter den organischen Verbindungen, wo wenige Elemente in außerordentlicher Mannigfaltigkeit der Combination auftreten.

75. Unter den binären Verbindungen, d. i. jenen, die aus einem Radical und irgend einem Grundstoff bestehen, spielen die des Sauerstoffes oder Oxygens, mit den einfachen und zusammengesetzten Radicalen die größte Rolle. Man nennt diese Verbindungen oxydirte Stoffe oder Oxyde im weitesten Sinne des Wortes. Der Act ihrer Bildung heißt Oxydation. Die oxydirten Stoffe zerfallen in vier Gruppen, in saure Oxyde oder Säuren, in basische Oxyde oder Basen, in Suboxyde und in Superoxyde. Die Säuren und Basen, zwischen welchen ein bloß relativer Unterschied besteht, verbinden sich unter einander zu Salzen. Ein Oxyd, das erst noch Sauerstoff aufnehmen muß, um als Basis auftreten zu können, heißt Suboxyd; jenes, welches aber zum Behufe seiner Verbindung mit einer Säure Sauerstoff fahren läßt, wird Superoxyd genannt. Gibt es von einem Stoffe mehrere basische Oxyde, so heißt das mit der geringsten Sauerstoffmenge Oxydul, das mit der größeren Oxyd in engerer Bedeutung. Eben so unterscheidet man zwei Suboxyde oder zwei Superoxyde desselben Stoffes durch die Benennungen Suboxydul und Suboxyd, oder Superoxydul und Superoxyd.

76. Der Sauerstoff kann in den binären Verbindungen auch durch andere einfache Stoffe, durch Chlor, Brom, Jod, Fluor, Schwefel, Selen, Phosphor vertreten werden. Man bezeichnet die auf solche Weise entstehenden Verbindungen jenen des Sauerstoffes anolog durch die Benennungen: Chloride, Bromide, Jodide, Fluoride, Sulphuride &c. Einige Chemiker rechnen sie auch zu den Salzen und nennen sie nach Berzelius Vorgange Haloidsalze, zum Unterschiede von den Amphidsalzen, welche Verbindungen binärer Zusammensetzungen sind, mithin einer höheren Ordnung angehören. Da, wo es nur eine Verbindung zwischen einem Salzbilder oder Haloid und einem Radical gibt, bezeichnet man sie dadurch, daß man die Namen der beiden Bestandtheile aneinander fügt, wie z. B. Chlorkalium, Jodstickstoff; wo aber zwei oder mehrere solcher Verbindungen existiren, heißt die mit der geringeren Menge

Chlor, Brom, Jod rc., Chlorür, Bromür, Jodür rc., und die mit der größten Chlorid, Bromid, Jodid rc. Nicht selten setzt man der aus den Namen beider Bestandtheile gebildeten Benennung der Verbindung noch die Bezeichnung einfach, anderthalb (sesqui), doppelt, u. s. w. vor, um dadurch anzuzeigen, daß in dieser Verbindung ein einfaches, $1\frac{1}{2}$faches, 2faches Quantum Chlor, Brom, Jod rc. enthalten sey. Uebrigens werden viele hieher gehörende Verbindungen mit Trivialnamen belegt, und man sagt lieber Kochsalz statt Natriumchlorid oder Chlornatrium, so wie man auch bei Oxyden den kurzen Namen Wasser statt Wasserstoffoxyd, Kali statt Kaliumoxyd u. dgl. gebraucht. Gleichwie man saure und basische Oxyde als Bestandtheile der Sauerstoffsalze unterscheidet, eben so lassen sich binäre Verbindungen, worin Haloide vorkommen, bezüglich ihres Antheiles an einer Verbindung der zweiten Ordnung, in diese zwei Classen bringen. Jene binären Verbindungen überhaupt, deren saure oder basische Natur nicht scharf ausgesprochen ist, und die sich daher bald als Basen, bald als Säuren zeigen, hat man sonst indifferente Stoffe genannt. Wir wollen nun sogleich den allgemeinen Charakter der Säuren und Basen näher ins Auge fassen.

77. Säure ist der Wortbedeutung nach ein sauer schmeckender Stoff. Seit langem bemerkte man die unverkennbare Aehnlichkeit unter den sauer schmeckenden Stoffen in ihrem chemischen Verhalten, besonders in Bezug auf die Fähigkeit, mit den geeigneten Substanzen salzartige Verbindungen zu liefern. Man faßte daher dieselben unter der Benennung »Säuren« in eine eigene Classe, gleichsam in eine natürliche Gruppe zusammen. Da aber sauer schmeckende Körper zugleich blaue Pflanzensäfte, als Veilchensyrup, Kohltinctur, Lackmusauflösung u. m. a. röthen, und zwar selbst dann noch, wenn sie durch Wasser so sehr verdünnt sind, daß sie den Geschmackssinn nicht mehr zu afficiren vermögen; so hielt man jene Wirkung für geeigneter zu einem charakteristischen Kennzeichen, und betrachtete alles als Säure, was diese Farbenänderung hervorbringt, wenn es auch nicht sauer schmeckt, wie z. B. die Blausäure, die Schwefelwasserstoffsäure. Allein damit ein Körper diese Farbenänderung hervorbringen könne, muß er im Wasser löslich seyn, und doch gibt es viele Körper, die mit den Lackmus, Veilchensyrup rc. röthenden in allen, ihre chemische Natur charakterisirenden Eigenschaften übereinstimmen, und daher mit denselben in eine Classe gezählt werden müssen, ohne im Wasser auflöslich zu seyn, wie z. B. die Kieselsäure; darum nennt man heut zu Tage alle jene Körper Säuren, die in ihrem chemischen Verhalten mit den, gewisse Pflanzenfarben röthenden, übereinstimmen. Diesem Verhalten gemäß, ist ein Körper nicht an und für sich, sondern bloß im Verhältnisse zu anderen eine Säure. Um hierüber in das Reine zu kommen, muß man von jenen Stoffen ausgehen, die sich so entschieden als Säuren beurkunden, daß über ihre Beschaffenheit kein Zweifel obwaltet, als: Schwefelsäure, Salpetersäure u. dgl. Wird nun eine Verbindung zweiter Ordnung durch irgend eine solche Säure zerlegt,

indem sich diese mit einem der beiden binären Bestandtheile verbindet, und den andern austreibt, so ist der vertriebene hinsichtlich des festgehaltenen als Säure, der letztere hinsichtlich des ersteren als Basis zu betrachten. Die Erfahrung bestätiget die Richtigkeit dieses Verfahrens dadurch, daß wenn A gegen B, und B gegen C als Säure erscheint, in keinem Falle A gegen C als Basis, sondern immer als Säure gefunden wird, so daß sich aus den untersuchten Stoffen eine Reihe bilden läßt, in der sich jedes vorangehende Glied gegen jedes nachfolgende als Säure, jedes nachfolgende gegen jedes vorangehende als Basis verhält.

78. Jede Säure besteht aus dem **Radical** und dem **säuernden Princip**; nach der gewöhnlichen Vorstellungsweise ist letzteres in der Regel entweder Sauerstoff, der von dieser Function sogar den Namen trägt, oder Wasserstoff; es können aber auch andere Grundstoffe die Rolle des säuernden Princips übernehmen, z. B. Schwefel. Man unterscheidet sonach **Sauerstoffsäuren**, **Wasserstoffsäuren**, **Sulfosäuren** (**Sulfide**) u. s. w. Manches Radical verbindet sich in mehreren Verhältnissen mit dem säuernden Princip, und liefert daher mehrere Säuren, die nicht durch die Natur ihre Bestandtheile, sondern durch deren quantitatives Verhältniß von einander abweichen.

79. Man benennt die Säuren in der Regel nach ihren Bestandtheilen, und zwar, wenn sie Sauerstoffsäuren sind, bloß nach dem Radicale, indem man demselben das Wort **Säure** nachsetzt; sind sie Wasserstoffsäuren, so setzt man ihm entweder die Sylbe **Hydro**, und bei Sulfiden die Sylbe **Sulfo** vor, oder das Wort »Wasserstoffsäure« nach. So heißt die aus Jod und Sauerstoff bestehende Säure Jodsäure, eine aus Chlor und Sauerstoff zusammengesetzte Chlorsäure; aber die aus Jod und Wasserstoff gebildete Säure wird entweder Hydrojodsäure oder Jodwasserstoffsäure, die aus Chlor und Wasserstoff gebildete entweder Hydrochlorsäure oder Chlorwasserstoffsäure genannt. Verbindet sich ein Radical in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff, so wird die den meisten Sauerstoff enthaltende saure Verbindung nach der vorhergehenden Regel, die mit der nächst kleineren Sauerstoffmenge durch das Radical, als Adjectiv gebraucht, mit Beifügung der Sylbe ig benannt. So heißt z. B. die aus Chlor mit der größeren Sauerstoffmenge bestehende Säure, Chlorsäure, die mit der nächst kleineren Sauerstoffmenge, chlorige Säure. Kennt man von einem Stoffe mehr als zwei Säuren, so bezeichnet man die Rangordnung der übrigen dadurch, daß man den auf die vorerwähnte Weise gebildeten Bezeichnungen die Sylbe **Ueber** oder **Unter** vorsetzt. So gibt es vier aus Schwefel und Sauerstoff bestehende Säuren, die ihrem Range nach so auf einander folgen: Schwefelsäure, Unterschwefelsäure, schwefelige Säure, unterschwefelige Säure. Die Säuren des Chlor heißen nach dem Grade ihrer Oxydation: Ueberchlorsäure, Chlorsäure, chlorige Säure rc. Man sucht die Benennungen immer so zu wählen, daß der Name einer bereits bekannten und benannten

Säure durch eine neu entdeckte nicht geändert zu werden braucht. Die trivialen Benennungen mancher oft vorkommenden Säuren sind von ihrem Gebrauche, von dem Stoffe, aus dem sie erzeugt werden rc. hergenommen. So z. B. nennt man die verdünnte Stickstoffsäure Scheidewasser, weil sie zum Scheiden des Goldes, welches sich nicht darin auflöst, von anderen Metallen gebraucht wird, oder Salpetersäure, weil sie aus Salpeter gewonnen wird; die meistens aus Kochsalz bereitete Hydrochlorsäure heißt Salzsäure rc.

80. Basen sind in chemischer Beziehung den Säuren gerade entgegengesetzt. Die schwächeren Basen stehen den Säuren ziemlich nahe, und spielen selbst manchmal die Rolle einer Säure; bei den stärkeren aber geht der Gegensatz mit den Säuren so weit, daß sie die durch Säuren veränderten Pflanzenfarben, z. B. jene der Lackmustinctur wieder herstellen, und selbst eine Aenderung in den natürlichen Farben vieler Pflanzensäfte bewirken (sie färben den Veilchensyrup, die Kohltinctur rc. grün, die Curcumetinctur braun), welche Aenderung aber wieder durch Säuren aufgehoben wird. Die Mehrzahl der Basen sind Metalloxyde. Diejenigen, bei welchen die basische Natur am stärksten hervortritt, heißen Alkalien oder alkalische Erden, je nachdem sie im Wasser leicht oder nur wenig löslich sind, auch die schlechtweg Erden genannten Körper gehören hieher; selbst das Pflanzen- und Thierreich liefert Basen, wovon einige sogar Spuren einer alkalischen Natur an sich tragen.

81. Unter den Verbindungen der zweiten Ordnung sind die streng so zu nennenden Salze oder die Amphidsalze die wichtigsten. Man versteht darunter, wie bereits oben gesagt wurde, Verbindungen der Säuren mit Basen. Hievon sind lediglich die durch Sauerstoff- und durch Sulfosäuren gebildeten (sogenannten Sauerstoffsalze und Schwefelsalze) untersucht. Diese Salze sind im wasserfreien Zustande fest, und wenn sie rein sind und aus farblosen Basen und Säuren bestehen, auch farblos; die aus farbigen Basen bestehenden haben meistens die Farbe der wasserhältigen Basis, oder eine ihr ähnliche, doch hängt die Farbe überhaupt stark von dem Wassergehalte ab. Die meisten Salze sind im Wasser löslich und haben einen eigenthümlichen Geschmack; ihre Löslichkeit im Wasser hängt von der Natur der Säure und Basis, vom Oxydationszustande der letzteren, vom Mischungsverhältnisse der zwei Bestandtheile und von der Temperatur ab; sie brauchen fast durchaus dem Gewichte nach mehr Wasser, als ihr eigenes Gewicht beträgt. Man theilt die Salze nach der Säure in Gattungen und diese nach der Basis in Arten ein. So z. B. bilden die schwefelsauren, salpetersauren, kohlensauren Salze Gattungen; schwefelsaurer Kalk, schwefelsaures Kali, schwefelsaures Eisenoxyd Arten der Gattung schwefelsaure Salze. Man bezeichnet sie dadurch, daß man der Basis den zu einem Adjectiv umgeformten Namen der Säure vorsetzt, wie die vorhergehenden Beispiele zeigen; viele Salze haben auch Trivialnamen, welche ihrer Kürze wegen oft auch in der Wissenschaft mit Nutzen gebraucht werden. So sagt man

z. B. Salpeter statt salpetersaures Kaliumoxyd, Glaubersalz statt wasserhältiges, krystallisirtes, schwefelsaures Natriumoxyd. Jede Gattung der Salze hat einen eigenthümlichen Charakter und unterscheidet sich dadurch von den übrigen Gattungen. Die Sauerstoffsalze sind entweder neutrale oder saure oder basische. Man nennt ein Salz neutral, welches für jedes Atom Sauerstoff der Basis ein Atom Säure enthält. Dem gemäß verhält sich z. B. in allen neutralen schwefelsauren Salzen der Sauerstoffgehalt der Säure zu jenem der Basis wie 3 : 1, in den salpetersauren Salzen wie 5 : 1 u. s. w. Ist der Sauerstoffgehalt der Säure größer, so heißt das Salz sauer, ist er geringer, so wird das Salz basisch genannt. Es enthält demnach keinen Widerspruch, wennn man sagt, die Auflösungen der neutralen Eisenoxydsalze röthen den Lackmus. Es kann sich aber nicht jede Base in diesem dreifachen Verhältnisse mit einer Säure zu Salzen verbinden, so wie überhaupt nicht jede Base mit einer Säure ein Salz gibt. Noch müssen die Doppelsalze erwähnt werden, die aus der Verbindung zweier Salze hervorgehen. Gewöhnlich sind bei diesen nur die Basen verschieden, die Säure beider Salze aber ist dieselbe, wie z. B. beim Alaun, der aus schwefelsaurem Kali und schwefelsaurer Alaunerde besteht. Doch gibt es auch Doppelsalze anderer Art.

Früher nannte man ein Salz neutral, in welchem die Eigenschaften der Säure und Basis sich gegenseitig aufgehoben haben; ein Salz worin die Säure vorwaltet, hieß sauer; ein solches worin die Basis überwiegt, basisch, und es wurde dieser Charakter durch das Verhalten gegen farbige Pflanzensäfte erkannt. Der mit dem Worte Salz selbst zu verbindende Begriff hat sich im Verlaufe der Entwicklung der Wissenschaft mehrere Male geändert, und man kam zuletzt sogar in Gefahr, das Vorbild aller Salze, das Kochsalz, von der Gruppe der Salze auszuschließen. Induction und Analogie führen in Erfahrungswissenschaften zu Ansichten, und veranlassen eben so bei gesteigerter Erfahrung diese wieder aufzugeben und gegen andere umzutauschen. Die älteren Chemiker nannten jeden in wenigstens 500 Theilen Wasser löslichen Stoff ein Salz; sie sprachen von sauren Salzen (Säuren), Laugensalzen (Alkalien), Neutralsalzen (Verbindungen der Säuren mit Laugensalzen), Mittelsalzen (Verbindungen der Säuren mit Erden und Metallkalken), von welchen letzteren sie erdige und metallische unterschieden. Später nannte man nur Verbindungen von Sauerstoffsäuren mit Metalloxyden und Ammoniak Salze; das Kochsalz galt als salzsaures Natriumoxyd; die Salzsäure selbst als die Sauerstoffsäure eines unbekannten Radicals, und Chlor als oxydirte Salzsäure. Probehältige Analogien veranlaßten hierauf die Salzsäure als eine Wasserstoffsäure des Chlors zu betrachten; Salzsäure und Natriumoxyd geben dieser Ansicht gemäß Natriumchlorid und Wasser; letzteres entspringt aus dem Wasserstoff der Säure und dem Sauerstoff des Oxydes: wasserfreies Kochsalz selbst ist Natriumchlorid. Wollte man nun das Kochsalz und viele andere ähnliche Stoffe nicht aus der Liste der Salze streichen, so mußte man zwei verschiedene Gattungen Salze, Haloidsalze und Amphidsalze annehmen und zu letzteren die Sauerstoffsalze rechnen Es läßt sich nicht läugnen, daß damit die Einfachheit der älteren Ansicht verloren geht; deßhalb scheint es nicht unangemessen, die zwischen den Haloid- und Amphidsalzen bestehende Kluft dadurch zu be-

seitigen, daß man dem Gebiete der Wasserstoffsäuren jene Ausdehnung gibt, welche schon Davy, der Urheber der Chlortheorie, entworfen hatte, und ihr gemäß die Sauerstoffsalze dem Bildungsgesetze der binären, d. i. der Haloidsalze unterwirft. Nach der gegenwärtig allgemein herrschenden Vorstellungsweise ist z. B. wasserfreie Schwefelsäure SO_3, englische Schwefelsäure (Schwefelsäurehydrat) $SO_3 + H_2O$, Glaubersalz $SO_3 + NaO$; man kann aber auch in den beiden letztgenannten Zusammensetzungen den Sauerstoff des zweiten Bestandtheiles auf den ersten übertragen und Schwefelsäurehydrat als $SO_4 + H_2$, Glaubersalz als $SO_4 + Na$ betrachten. Wird nun die Verbindung SO_4 als hypothetisches Radical angenommen, das wie Chlor, Jod, Cyan ꝛc. mit Wasserstoff eine Säure, mit Metallen salzartige Verbindungen liefert, so erscheint die englische Schwefelsäure als Wasserstoffsäure, und das Glaubersalz ganz dem Kochsalze analog gebildet. Es ist klar, daß diese Vorstellungsweise sich auf alle andern Sauerstoffsäuren und deren Salze übertragen läßt. Ihr gemäß verwandeln sich diese Säuren, in sofern sie Wasser enthalten, in Wasserstoffsäuren; im wasserfreien Zustande treten sie aus der Classe der Säuren heraus, und die eigentlichen Sauerstoffsäuren verschwinden gänzlich. Wird diese Theorie der Erklärung der chemischen Verbindungen zum Grunde gelegt, so kann das oben (74) angegebene Unterscheidungsmerkmal zwischen unorganischer und organischer Chemie nicht aufrecht erhalten werden, denn auch die unorganische Chemie hat es dann mit zusammengesetzten Radicalen zu thun, und erfreut sich der Vortheile, welche die Betrachtung derselben der organischen Chemie gewährt. Die Aufmerksamkeit, welche ausgezeichnete Autoritäten der Sache widmen, läßt künftige Reformen in der chemischen Sprache erwarten, weßwegen dieser Gegenstand hier nicht mit Stillschweigen übergangen werden konnte. (S. Liebig in Geiger's Handbuch der Pharmacie 1. Bd. 5. Aufl. Heidelberg 1839. S. 604; Graham's Lehrbuch der Chemie. Braunschweig 1840. 1. Bd. S. 316. 2. Bd S. 303.)

82. Nun mag eine kurze Charakteristik der einfachen Stoffe und ihrer vorzüglichsten binären Verbindungen folgen.

Den Sauerstoff oder das Oxygen O kennt man im freien Zustande nur als Gas. Man erhält das Sauerstoffgas durch Zersetzung mehrerer sauerstoffhaltigen Körper, wie z. B. des rothen Quecksilberoxydes, des schwarzen Braunsteines, des chlorsauren Kali's ꝛc. mittelst Hitze. Das Sauerstoffgas ist geschmack- und geruchlos und nicht sichtbar, es wird vom Wasser nur in sehr geringer Menge aufgenommen; es unterhält das Athmen und Brennen viel besser als atmosphärische Luft, so zwar, daß ein Thier in einer Portion Sauerstoffgas 5—6mal länger leben kann, als in einer gleichen Portion atm. Luft, und daß Körper, die in der atm. Luft nur matt brennen, wie z. B. eine Stahlfeder, eine Kohle, im Sauerstoffgase mit ungemeiner Lebhaftigkeit verbrennen. Darum heißt dieses Gas auch Lebensluft oder Feuerluft. — Der Sauerstoff geht fast mit allen Grundstoffen Verbindungen ein. Was man im gemeinen Leben Verbrennen nennt, ist in der Regel eine Oxydation. Man hat diese Benennung sogar auf den Fall übertragen, wenn die Verbindung des Sauerstoffes mit einem Körper ohne Licht und auffallende Wärmeentwicklung erfolgt, und unterscheidet demgemäß ein langsames und ein rasches Verbrennen. Davon an einem andern Orte mehr.

Das rothe Quecksilberoxyd HgO zerfällt, in einer kleinen Glasretorte mittelst einer Weingeistlampe mit doppeltem Luftzuge stark erhitzt, in Quecksilber, welches man in einem vorgelegten Ballon auffängt, und in Sauerstoff, der in die pneumatische Vorlage übergeht. Reiner Braunstein ist Manganhyperoxyd MnO_2, er gibt bei gelindem Glühen 9, bei heftigem Glühen 12, mit Schwefelsäure übergossen und mäßig erhitzt 18 Procente seines Gewichtes Sauerstoff ab, und verwandelt sich im ersten Falle in Manganoxyd, im zweiten in Oxyduloxyd, im dritten in Oxydul, welches letztere sich in der Schwefelsäure auflöst. Am leichtesten und sehr rein erhält man aber das Sauerstoffgas aus dem chlorsauren Kali $KO + Cl_2O_5$, welches in einer kleinen gläsernen Retorte mit pneumatischer Vorlage mittelst einer Weingeistlampe über den Schmelzpunct erhitzt, sich so zersetzt, daß in der Retorte KCl_2 zurückbleibt und 6 At. O ausgeschieden werden. Demnach liefert dieses Salz 39 Procente seines Gewichtes Sauerstoff, also 1 Loth davon 260 Kubikzoll oder nahe 3⅓ Maß Sauerstoffgas. Mit sehr gelinder Hitze geht die Operation vor sich, und gewinnt dadurch ausnehmend an Bequemlichkeit, wenn man das chlorsaure Kali mit reinem Braunstein mengt, etwa 2 Gewichtstheile chlorsaures Kali mit 1 Th. Braunstein. Doch hat hier die Erwärmung mit Aufmerksamkeit zu geschehen, um allzurascher Gasentwicklung vorzubeugen; sobald diese lebhaft wird, entfernt man die Flamme. Der Braunstein an sich bleibt hiebei unzerlegt. Man braucht das Sauerstoffgas zu Respirationsapparaten, zur Belebung erstickter Scheintodter, zum Verbrennen schwer brennbarer Stoffe. Es wurde 1774 von Priestley und 1775 von Scheele entdeckt.

83. Auch freien Wasserstoff (Hydrogen) H kennt man nur in gasförmigem Zustande; er wird durch Zersetzung des Wassers erhalten. Das Wasserstoffgas ist farb-, geschmack- und im reinen Zustande auch geruchlos, wird vom Wasser nur in geringer Menge aufgenommen, es ist die leichteste aller Gasarten, weder zum Athmen, noch zur Unterhaltung des Brennens geeignet; selbst kann es aber in Berührung mit atmosphärischer Luft angezündet werden und fortbrennen. Man kennt zwei Verbindungen des Wasserstoffes mit dem Sauerstoffe, das Wasser H_2O und das Wasserstoffsuperoxyd HO.

Leitet man Wasserdämpfe durch ein glühendes eisernes Rohr, so oxydirt sich das Eisen, und es entwickelt sich Wasserstoffgas. Das Gewicht dieses Gases und die Gewichtszunahme des Eisens machen zusammen genau das Gewicht des consumirten Wassers aus, wodurch man zugleich den Beweis hat, daß das Wasser aus Sauerstoff und Wasserstoff besteht. Am bequemsten aber erhält man Wasserstoffgas, wenn man verkleinertes Eisen oder Zink mit Schwefelsäure, der man Wasser zugesetzt hat, in Berührung bringt. Die Verwandtschaft der Schwefelsäure zum Eisen- oder Zinkoxyde nöthigt das Wasser, seinen Sauerstoff an genanntes Metall abzutreten, wodurch der Wasserstoff in Freiheit gesetzt wird. Die fremdartigen Bestandtheile, mit welchen das auf diese Weise bereitete Wasserstoffgas wegen Unreinheit des Eisens oder Zinkes verunreinigt und denen der Geruch desselben zuzuschreiben ist, schafft man dadurch weg, daß man es durch passende Substanzen leitet, z. B. durch Quecksilbersublimatlösung wegen eines darin befindlichen Antheiles Arsenik, durch Kalihydrat wegen des Schwefels, durch Weingeist wegen des aus Kohle und Wasserstoff sich bildenden flüchtigen Oehles. Man kann das Wasserstoffgas zum Füllen der Luftbälle, zu Zündmaschinen rc. benützen. Seine große Leichtigkeit zeigt

sich am einfachsten durch das Aufsteigen von Seifenblasen, die mit diesem Gase gefüllt sind. Man kennt den Wasserstoff erst seit dem Jahre 1781 näher durch Cavendish und Lavoisier's Versuche über die Zusammensetzung des Wassers. Die Entzündlichkeit der bei der Auflösung von Zink in verdünnter Schwefelsäure sich entwickelnden Luftart war längst bekannt.

84. Zur Bildung von Wasser H_2O sind genau zwei Raumtheile Wasserstoffgas und ein Raumtheil Sauerstoffgas bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur erforderlich. Hieraus folgt, mit Rücksicht auf die Dichten dieser Gase, daß 100 Gewichtstheile Wasser aus 11,09 Theilen Wasserstoff und 88,91 Sauerstoff bestehen. Nur das unmittelbar aus seinen Bestandtheilen erzeugte oder das durch Destillation des gewöhnlich vorkommenden Wassers erhaltene ist rein. In diesem Zustande ist es geschmack- und geruchlos, höchst durchsichtig, in kleinen Massen ohne merkliche Farbe, in größeren bläulichgrün. Das reinste natürlich vorfindige Wasser trifft man in den Eishöhlungen der Gletscher an, wo es bloß mit Eis und Luft in Berührung steht, und aus letzterer keine organische Stoffe aufnehmen kann. Das Wasser spielt als allgemeines Auflösungsmittel eine wichtige Rolle; mit vielen Stoffen geht es innigere chemische Verbindungen ein, die man Hydrate nennt.

Mengt man Wasserstoff- und Sauerstoffgas in dem zur Wasserbildung nöthigen Verhältnisse und zündet das Gemenge an, was auch mittelst eines elektrischen Funkens geschehen kann, so erfolgt die Verbrennung des Wasserstoffes in der ganzen Masse auf einmal, und es können durch die wegen der Temperaturerhöhung bedeutend gesteigerte Ausdehnsamkeit des gebildeten Wasserdunstes selbst starke Gefäße zersprengt werden. Schwache Hüllen des Gasgemenges, z. B. Seifenblasen, platzen bei dessen Entzündung mit einem starken Knalle, weßwegen dieses Gemenge Knallluft heißt. Um daher die Verbindung des Wasserstoffes mit dem Sauerstoffe auf diesem Wege zur Nachweisung der quantitativen Zusammensetzung des Wassers gefahrlos zu bewerkstelligen, muß man entweder nur kleine Gasmengen in einer sogenannten Verpuffungsröhre (siehe die später vorkommende Beschreibung der Eudiometer) behandeln, oder Wasserstoffgas, das aus einem Gasometer nur nach Bedarf zuströmt, in Sauerstoffgas vorsichtig brennen lassen. Auch kann die bereits früher erwähnte Eigenschaft des Platins zu diesem Zwecke benützt werden. Man findet die Zusammensetzung des Wassers unmittelbar in Gewichtstheilen sehr genau durch Reduction eines bekannten Quantums Kupferoxyd mittelst eines darüber geleiteten Stromes Wasserstoffgas und nachherige Bestimmung des Gewichtes des erzeugten Wassers, indem aus dem Gewichte des Kupferoxydes CuO und aus der Art seiner Zusammensetzung das Gewicht des vorhandenen Sauerstoffes, der mit dem Wasserstoff Wasser bildet, bekannt ist.

Das gewöhnliche Wasser nimmt vermöge seiner vielseitigen Verwandtschaft Körper von verschiedener Art auf, meistens aber Salze und Luftarten; durch erstere bekommt es einen eigenthümlichen Geschmack und wird zu manchem technischen Zwecke unbrauchbar; es heißt dann hartes Wasser. Viele Stoffe nimmt es mechanisch mit sich fort, setzt sie aber in der Ruhe wieder größtentheils ab. Wasser, das organische Stoffe aufgenommen hat, bekommt einen übeln Geruch und Geschmack, wird aber oft mit der Zeit wieder rein und trinkbar, weil diese Stoffe

durch Fäulniß zu Grunde gehen. Aber ohne dieses abzuwarten, kann man Wasser reinigen, indem man es durch abwechselnde Schichten von Kohle und Sand oder durch mehrere Sandschichten leitet. Selbst das reinste Wasser verdirbt mit der Zeit, weil es aus der Luft oder aus den Gefäßen, in denen es aufbewahrt wird, organische Stoffe aufnimmt. Durch Kohle, auch durch eine geringe Portion Kalk oder salpetersaures Silber, kann man es vor dem Verderben lange Zeit schützen.

Das Wasserstoffsuperoxyd, welches doppelt so viel Sauerstoff enthält, als das Wasser bei gleicher Menge des Wasserstoffes, ist eine farblose, äußerst leicht zersetzbare Flüssigkeit von Syrupdicke, die bei — 30° C. noch nicht gefriert. Es wurde von Thenard 1818 entdeckt.

85. Den Stickstoff (Azot, Nitrogen) N kennt man gleichfalls nur als Gas. Dieses besitzt fast nur negative Eigenschaften, hat keine Farbe, keinen Geschmack, keinen Geruch, wird vom Wasser fast gar nicht aufgenommen, unterhält das Brennen nicht und taugt nicht zum Einathmen. Man erhält das Stickgas, wenn man der atmosphärischen Luft, die ein Gemenge von Sauerstoff- und Stickgas ist, den Sauerstoff durch ein mit demselben stark verwandtes Mittel, z. B. durch Phosphor, entreißt. Der Stickstoff verbindet sich mit vielen Stoffen, aber mit keinem unmittelbar. Mit Sauerstoff gibt er vier Verbindungen, die Salpetersäure N_2O_5, die salpetrige Säure N_2O_3, das Stickoxyd (Salpetergas) N_2O_2 und das Stickoxydul N_2O. Mit Wasserstoff bildet er das Ammoniak N_2H_6.

Sehr leicht bereitet man das Stickgas nach Soubeiran, wenn man ein Gemenge von Salpeter und Salmiak in einer kleinen Retorte erhitzt, und das sich entwickelnde Gas zur Reinigung durch eine Aetzkalilösung leitet. Hier zerlegen sich der Salpeter $KO + N_2O_5$, und der Salmiak $N_2H_8Cl_2$ gegenseitig; es verbindet sich der Sauerstoff und das Kalium des ersteren mit dem Wasserstoffe und dem Chlor des letzteren zu Wasser und Chlorkalium, und der Stickstoff beider wird mit etwas Chlor, Salzsäure und salpetrigsaurem Gas verunreinigt, ausgeschieden. Das Stickgas wurde zuerst 1772 durch Rutherford untersucht.

Die Salpetersäure oder vielmehr deren Hydrat $N_2O_5 + H_2O$ erhält man, wenn man verkleinerten Salpeter mit fast gleicher Gewichtsmenge (97. pCt.) concentrirter Schwefelsäure mäßig erhitzt, wobei Salpetersäure mit einem Antheil Wasser (ohne welches sie nicht existiren kann, sondern sogleich in Stickstoff und Sauerstoff zerfällt) ausgeschieden wird, und in die Vorlage übergeht. Der Salpeter ist $KO + N_2O_5$, die hier anzuwendende Schwefelsäure $2 (SO_3 + H_2O)$. In der Retorte bleibt zweifach schwefelsaures Kali, in Verbindung mit einem Antheile Wasser, d. i. $KO + 2 SO_3 + H_2O$ zurück, während $N_2O_5 + H_2O$ frei wird. Nimmt man, wie früher gebräuchlich war, bloß halb so viel Schwefelsäure als Salpeter, so ist eine höhere Temperatur zur Operation nöthig; in der Retorte bleibt zuletzt einfach schwefelsaures Kali, aber es wird, wie Mitscherlich, dem wir die Aufklärung über diese Vorgänge verdanken, gezeigt hat, ein Theil der Salpetersäure zerlegt, und geht verloren, was man an der reichlichen Entwicklung von Sauerstoffgas erkennt. Während der Operation selbst entwickeln sich gelblich-rothe Dämpfe, die sich in einer Vorlage zu einer orangefarbigen, tropfbaren Flüssigkeit verdichten lassen, welche beständig Dämpfe, wie die, woraus sie entstanden ist, aussendet und rauchende Salpetersäure heißt. Sie ist eine Verbindung von Salpeter-

säure und salpetriger Säure, aus der man erstere erhält, wenn man letztere durch Hitze oder durch Zugießen von Wasser vertreibt. Im ersteren Falle erhält man sie concentrirt, im letzteren verdünnt, wo sie dann, wenn sie bereits perlblau oder wasserhell geworden ist, doppeltes oder einfaches Scheidewasser heißt. Die reine Salpetersäure hat einen sehr sauren Geschmack, färbt die thierische Haut und andere organische Körper dauerhaft gelb, zerstört die Pflanzenfarben mit der Zeit, verbindet sich unter Wärmeentwicklung mit Wasser, zieht dasselbe sogar aus der Atmosphäre an; sie nimmt keinen Sauerstoff mehr auf, tritt aber gerne einen Theil desselben an leicht oxydirbare Körper ab, und verwandelt sich dann in eine der niedrigeren Oxydationsstufen des Stickstoffes, ja sie kann sogar den Sauerstoff ganz fahren lassen. Uebergießt man daher Kupferfeile mit Scheidewasser, so erhält man, während sich das Metall auf Kosten eines Theiles der Säure oxydirt, um sich in dem übrigen Theile derselben aufzulösen, das Stickoxyd als eine farblose Gasart, welche vom Wasser nur in geringer Menge aufgenommen wird, aber in Berührung mit atm. Luft oder mit Sauerstoffgas sich sogleich wieder oxydirt und rothe Dämpfe liefert, ein Gemenge von salpetriger und Salpetersäure, die vom Wasser verschluckt werden. Wird Zink in sehr verdünnter Salpetersäure aufgelöst, oder dem Stickoxyd durch feuchte Eisenfeile Sauerstoff entzogen, so erhält man Stickoxydul, ein farbloses Gas, welches vom Wasser absorbirt wird, und eingeathmet einen eigenthümlichen, dem Rausche ähnlichen Zustand hervorruft. Man kann es auch durch Zerlegung des salpetersauren Ammoniaks $N_2H_6 + N_2O_5$ bereiten, das erhitzt in Stickoxydul und Wasser zerfällt. Das Stickoxyd und Stickoxydul wurden von Priestley 1772—1776 entdeckt.

Das Ammoniak erscheint in reinem Zustande bei gewöhnlichem Luftdrucke nur als farbloses Gas von starkem eigenthümlichen Geruche, ist an der Luft schwer entzündlich, verpufft jedoch mit Sauerstoffgas gemengt durch den elektrischen Funken; auf den siebenten Theil seines Rauminhaltes zusammengedrückt, oder stark erkältet, wird es tropfbar flüssig. Es ist eine entschieden alkalische Basis (80). Das Gas wird vom Wasser begierig verschluckt, und stellt sodann das wässerige Ammoniak dar, das man seit 1756 kennt. Man erhält das Ammoniakgas durch Erhitzen eines Gemenges von Salmiak (Chlorammonium) $N_2H_8Cl_2$ mit gebranntem Kalke CaO, wobei sich Chlorcalciumhydrat $CaCl_2 + H_2O$ bildet und Ammoniak N_2H_6 frei wird. Die für sich in isolirtem Zustande nicht darstellbaren oder hypothetischen Verbindungen N_2H_8 und N_2H_4 nennt man Ammonium und Amid. Ersterem schreibt man eine metallische Natur zu; letzteres geht mit einfachen Stoffen und mit organischen Radicalen verschiedene Verbindungen ein, und kann selbst als Radical einer Reihe zusammengesetzter Stoffe (der Ammoniakverbindungen) betrachtet werden, worin Ammoniak und Ammonium als erste Glieder erscheinen.

86. Mengt man 21 Volume Sauerstoffgas mit 79 Vol. Stickgas, so erhält man Luft, wie sie in der Atmosphäre in dem reinsten Zustande vorhanden ist. Daß die atmosphärische Luft wirklich aus Sauerstoffgas und Stickgas bestehe, kann man auch auf analytischem Wege beweisen. Folgendes ist der älteste zu diesem Behufe angestellte Versuch: Gibt man eine genau abgewogene Quantität Quecksilber in eine Retorte, die mit einem atm. Luft enthaltenden, durch Wasser gesperrten Recipienten in Verbindung steht, erhitzt das Quecksilber und erhält es einige Zeit bei einer seiner Siedhitze nahe kom-

menden Temperatur, so bemerkt man, daß sich die Luft im Recipienten vermindert, und daß zugleich das Quecksilber in rothes Quecksilberoxyd übergeht. Dieses wiegt mehr als das Quecksilber, woraus es entstanden ist, und zwar genau um so viel, als das Gewicht der verschwundenen Luft beträgt. Hat man nicht zu wenig Quecksilber angewendet, so charakterisirt sich die übrig gebliebene Luft als Stickgas. Das aus dem rothen Quecksilberoxyde durch Glühen erhaltene Sauerstoffgas gibt mit dem Stickgase gemengt atm. Luft wieder, gerade so, wie man sie ursprünglich zum Versuche gebraucht hat. Das Verhältniß, in welchem Sauerstoff und Stickstoff in der atm. Luft vorkommen, im Vergleiche mit jenen, in welchen diese Stoffe chemische Verbindungen eingehen (85), zeigt deutlich, daß die atmosphärische Luft kein chemisches Product sey, was durch die später zu erklärenden Gesetze des Gleichgewichtes gemengter Gase noch mehr ins Licht gesetzt wird.

Sperrt man ein Thier oder eine brennende Kerze in eine mit Luft gefüllte Glocke, so stirbt das Thier und es verlischt die Kerze nach einiger Zeit, und zwar nachdem die Luft zuvor eine Verminderung erlitten hat, aber doch nicht ganz verzehrt ist. Untersucht man den Rest derselben, nachdem man ihn vorläufig zur Entfernung der etwa durch das Athmen oder Verbrennen entstandenen fremdartigen Beimischung durch eine Auflösung von Aetzkali geleitet hat, so findet man ihn aus lauter Stickgas bestehend. Schon dieser einfache Versuch gibt zu erkennen, daß die atm. Luft Stickgas und einen zum Athmen und zur Unterhaltung des Brennens tauglichen Antheil enthalte. Die Zusammensetzung der Luft wurde 1775 durch Lavoisier bewiesen.

87. Das in der atm. Luft vorhandene Verhältniß zwischen Sauerstoffgas und Stickgas wird durch besondere sogenannte eudiometrische Versuche ausgemittelt, deren Wesentliches darin besteht, daß man ein gemessenes Volum atm. Luft durch eine schickliche Substanz, z. B. durch Stickstoffoxyd, Schwefelleber, Wasserstoff, Phosphor rc. des Sauerstoffes beraubt, und dann entweder das Volum des zurückgebliebenen Stickgases mißt, es von jenem der untersuchten Luft abzieht und so den Sauerstoffgehalt indirect sucht, oder besser, indem man diesen Gehalt aus der Gewichtsvermehrung des Körpers, der den Sauerstoff aufgenommen hat, direct ableitet. Zur indirecten eudiometrischen Untersuchung braucht man am besten Wasserstoffgas, und wendet am zweckmäßigsten Ure's oder Döbereiner's Eudiometer an; zur directen Untersuchung empfiehlt Brunner Phosphor, und bedient sich dazu eines besondern, wie es scheint, sehr zweckmäßigen Apparates.

Ure's Eudiometer besteht aus einer 3 — 4 Linien weiten Glasröhre, die in zwei einander parallele 8 -- 9 Zoll lange Schenkel gebogen, an einem Ende zugeschmolzen und am geschlossenen Schenkel in gleiche Volumtheile getheilt ist. Nahe am Ende dieses Schenkels sind zwei einander gegenüberstehende Platindrähte eingeschmolzen, deren Enden im Innern der Röhre etwa ½ Linie von einander abstehen. Diese Röhre wird zum Behufe eines eudiometrischen Versuches mit Wasser, besser mit Quecksilber gefüllt, und dann in den geschlossenen Schenkel zwei Raumtheile atmosphärische Luft und ein Raumtheil Wasserstoffgas eingelassen. Hierauf macht man den Stand der Sperrflüssigkeit bei aufrechter

Stellung der Röhre in beiden Schenkeln gleich, schließt den offenen, nicht ganz mit Flüssigkeit gefüllten Schenkel fest mit dem Finger, und läßt mittelst der Platindrähte einen elektrischen Funken durch das eingefüllte Gas schlagen. Die unter dem Finger befindliche Luft dient ihrer Zusammendrückbarkeit wegen dazu, den Impuls des in dem andern Schenkel explodirenden Gasgemenges auf das Wasser oder Quecksilber zu mäßigen, und leistet dabei so viel Widerstand, daß von dem abgeschlossenen Gasrückstande nichts entweichen kann. Sobald das Luftvolum sich verringert hat, schüttet man durch den offenen Schenkel Flüssigkeit zu, um den Stand derselben wieder in beiden Schenkeln gleich zu erhalten, und mißt dann das Luftvolum, um auf die erlittene Verminderung schließen zu können. Ein Drittel derselben gibt den Gehalt an Sauerstoffgas an. Volta's Eudiometer ist selbst mit der von Pepys und Gay-Lussac angebrachten Verbesserung noch complicirter als dieser Apparat (Ure's Handwörterbuch der praktischen Chemie. Weimar 1825. S. 482). Döbereiner füllt die atm. Luft und das Wasserstoffgas in eine einerseits geschlossene gradnirte Glasröhre ein, und bewirkt die Verbrennung durch ein auf sehr sinnreiche Weise eingeführtes Kügelchen Platinschwamm (Dessen Beiträge zur phys. Chemie. Hft. 2, S. 52). Brunner's eudiometrischer Apparat besteht aus einer Glasröhre a b (Fig. 5), welche an beiden Enden in ein enges Röhrchen ausgezogen ist, in einer Länge von etwa 7 Zoll trockene Baumwolle, und weiter gegen a aber 12 — 13 Gran trockenen und an die Röhrenwand angeschmolzenen Phosphor enthält, ferner aus einem Gefäße A, das durch eine Kautschukröhre mit b verbunden ist, unten einen Sperrhahn hat, beim Versuche mit Quecksilber oder Olivenöhl gefüllt wird, und die Bestimmung hat, in dem Maße, als man diese Flüssigkeit durch den Hahn abfließen läßt, durch die Röhre a b Luft einzusaugen; endlich aus dem Gefäße B, womit man das Volum der ausgeflossenen Flüssigkeit, und hiedurch zugleich jenes der durch a b eingesaugten Luft mißt. Durch einen vorläufigen Versuch wird die in a b enthaltene Luft durch einen Theil des Phosphors und der von der Baumwolle eingesaugten phosphorigen Säure alles Sauerstoffes beraubt, hierauf die Röhre in a und b zugeschmolzen und so aufbewahrt. Will man ein eudiometrisches Experiment machen, so wiegt man die Röhre sammt ihrem Inhalte genau, bricht dann die Spitzen ab und legt sie zur Seite, verbindet a b mit dem Gefäße A, das bereits mit Oehl oder Quecksilber gefüllt ist, stellt das Meßgefäß B unter, erhitzt den Phosphor, öffnet dann den Hahn und läßt die Flüssigkeit aus A nach B abfließen. Damit in a nur trockene Luft eingesaugt werde, setzt man daselbst ein mit Chlorcalcium versehenes offenes Rohr an, durch welches die Luft zum Phosphor gelangt. Sobald die Flasche B mit der abfließenden Masse gefüllt ist, wird der Hahn geschlossen, die Röhre in a und b zugeschmolzen und sammt den vorher abgeschnittenen Spitzen wieder gewogen. Die Gewichtszunahme gibt das Gewicht des Sauerstoffes an, den das durch a b geleitete, der in B gesammelten Flüssigkeit an Volum gleiche Luftquantum enthielt. Es scheint, als könne man nach dieser Methode den Sauerstoffgehalt bis auf 0,1 pCt. genau bestimmen, während das Wasserstoffgas-Eudiometer dieses kaum bis auf 0,5 pCt. zu thun gestattet. (Brunner in Pogg. Ann. 27. 1; 31. 1; 38. 164. Rose's analytische Chemie. Berlin 1838. Bd. 2. 671.)

88. Eudiometrische Versuche haben gelehrt, daß in 100 Raumtheilen atm. Luft stets 21 Rth. Sauerstoffgas und 79 Rth. Stickgas enthalten seyen, man mag die Luft zu was immer für einer Jahres- oder Tageszeit, am festen Lande oder am Meere, nahe am Boden oder

in großen Höhen, im Freien oder an Orten, die von Menschen längere Zeit gedrängt voll waren, genommen haben. Die fremdartigen Beimischungen, welche wir oft durch den Geruch erkennen, oder die auf unsere Gesundheit schädlich einwirken, lassen sich nicht nachweisen, wiewohl an ihrem Daseyn nicht zu zweifeln ist.

Berthollet zerlegte die Luft von Paris und Cairo, De Marti die in Catalonien in allen Monaten des Jahres und zu verschiedenen Stunden des Tages, Berger die zu Genf und in den Schweizergebirgen, Biot auf Formentera und Yviza, Kupffer in Kasan, Davy die Luft in England und Guinea, Gay-Lussac die 3383 P. Kl. über der Erde aufgefangene, Vogel die eine halbe Meile vom Lande über dem Meere geschöpfte, Hermbstädt die an der Ostsee, Configliachi die über bewässerten Reisfeldern, Séguin die Luft in einem vollen Theater, Ed. Davy in einem Hospitale; allein überall fand man sie von gleichem Gehalte an Sauerstoff und Stickstoff.

89. Der Kohlenstoff C ist ein brennbarer, geschmack- und geruchloser, unschmelzbarer Stoff, der sich weder im Wasser, noch im Weingeiste oder in Oehlen auflöset, und selbst den stärksten Säuren widersteht; er kommt am reinsten als Diamant vor, in der Pflanzen- und Thierkohle ist er mit mehreren andern Körpern, besonders in jener mit Wasserstoff, in dieser mit Stickstoff verbunden. Er ist ein Bestandtheil aller organischen Körper, ist aber auch in vielen Mineralkörpern, wie z. B. im Graphit, in der Kohlenblende rc. reichlich enthalten. Der Kohlenstoff liefert mit dem Sauerstoffe mehrere Verbindungen, wovon die Kohlensäure CO_2, die Kleesäure (Oxalsäure) C_2O_3 und das Kohlenoxyd CO für den Physiker die wichtigsten sind. Mit dem Wasserstoff geht der Kohlenstoff sehr viele Verbindungen ein, und bildet unter andern das Grubengas CH_4 und das öhlbildende oder Leuchtgas CH_2. Mit dem Stickstoff erzeugt er das Cyan CN.

Die Kohlensäure CO_2 erscheint in der Regel als Gas, kann aber auch tropfbar und fest dargestellt werden (44). Als Gas ist sie schwerer als atmosphärische Luft, zur Unterhaltung des Brennens und Athmens ganz untauglich, wird vom Wasser leicht absorbirt, und ertheilt demselben einen angenehmen säuerlichen Geschmack; sie widersteht der Fäulniß mächtig. Sie findet sich als Gas an vielen Orten der Erde, und strömt hie und da von selbst aus besonderen Oeffnungen mit oder ohne Wasser hervor, wie z. B. beim Sprudel in Karlsbad, an einigen Orten am Rhein; sie entwickelt sich auch beim Athmen, beim Verbrennen der Kohle, bei der Weingährung, und wird auch künstlich durch Schwefelsäure aus Kreide, Marmor, d. i. aus kohlensaurem Kalke rc. ausgetrieben, indem die Schwefelsäure mit dem Kalke Gips bildet. Man benützt sie häufig zur Bereitung künstlicher Mineralwässer.

Die Oxalsäure, welche im Safte des Sauerklees und in andern Pflanzen an Kali gebunden vorkommt und daraus abgeschieden werden kann, bildet sich auch durch Kochen von Zucker in Salpetersäure. Erscheint im wasserhaltigen Zustande in farblosen Krystallen. Von Scheele 1776 entdeckt, von Döbereiner zuerst richtig analysirt.

Das Kohlenoxydgas erhält man, wenn man der kryst. Oxalsäure durch Schwefelsäure das Wasser entzieht, und das sich dabei entwickelnde Gas durch eine Kalilösung leitet. Hierbei zerfällt die Oxalsäure, die ohne Wasser nicht bestehen kann, in Kohlensäure und in

Kohlenoxydgas, wovon erstere durch die Kalilösung aufgenommen wird. Das Kohlenoxydgas brennt mit blauer Flamme. Es bildet sich auch beim Verbrennen der Kohle unter gehemmtem Luftzutritte. Wurde 1799 von Priestley entdeckt.

Das Grubengas (Kohlenwasserstoffgas mit dem Minimum von Kohlenstoff) entwickelt sich in Sümpfen daher es auch Sumpfgas heißt, in Kohlenberzwerken, kann aber künstlich erzeugt werden, wenn man Wasserdämpfe durch ein glühendes, mit Kohlenpulver gefülltes eisernes Rohr leitet. Es ist nicht respirabel, riecht sehr unangenehm, läßt sich anzünden, und brennt mit einer sehr schwachen blauen Flamme, die nicht stark leuchtet, detonirt aber, mit Sauerstoffgas gemischt und dann angezündet, sehr heftig. Das Leuchtgas (Kohlenwasserstoffgas mit dem Maximum an Kohlenstoff) wird zum Behufe der Gasbeleuchtung durch Destillation organischer Substanzen, vorzüglich Oehl, Steinkohlen rc. bereitet. Zu Versuchen im Kleinen erhält man es leicht durch Erhitzen einer Mischung von 1 Theile Alkohol mit 4 Th starker Schwefelsäure. Es ist farblos, von widrigem Geruche, brennbar, und zwar brennt es mit sehr heller, lebhafter Flamme, verpufft, mit Sauerstoffgas erhitzt, sehr gewaltig, und liefert mit Chlor einen öhlartigen Körper, daher man es auch öhlbildendes Gas nennt. (Pogg. Ann. 4. 469; 5. 316 u. 324.) Wurde 1794 bekannt.

Das Cyan Cy erscheint als farbloses Gas, von durchdringendem Geruche, ist giftig, wird vom Wasser absorbirt, und brennt mit schön violetter Flamme. Man erhält es, wenn man Cyanquecksilber $Hg\,Cy_2$ in einer kleinen Retorte über einer Weingeistlampe erhitzt. In einer 2—3 Linien weiten, gebogenen, geschlossenen Glasröhre entwickelt, dient es als bequemes, gefahrloses Beispiel der Tropfbarmachung eines Gases nach Faraday's Methode. Wurde von Gay-Lussac im Jahre 1814 entdeckt. Kohlenoxyd und Cyan sind zwei wichtige organische Radicale. Letzteres bildet mit dem Sauerstoffe drei Säuren: die Cyansäure Cy_2O, die man nur mit Wasser verbunden kennt; die Knallsäure Cy_4O_2, die sich isolirt nicht darstellen läßt, sondern nur an Basen gebunden vorkommt, mit denen sie leicht und heftig explodirende Salze liefert (darunter das als Zündmittel bei Percussionsgewehren dienende Knallquecksilber) die Cyanursäure Cy_6O_3 auch nur wasserhaltig darstellbar. Mit dem Wasserstoffe erzeugt das Cyan eines der heftigsten Gifte, die Blausäure Cy_2H_2.

90. Chlor Cl ist in der Natur in großer Menge vorhanden, aber niemals in freiem Zustande. Durch Kunst läßt es sich im reinen Zustande als Gas und als tropfbare Flüssigkeit darstellen. Man erhält es aus Salzsäure durch Zerlegung derselben mittelst Braunstein, oder durch Behandlung eines Gemenges von Kochsalz und Braunstein mit Schwefelsäure. Das Gas hat eine weingelbe Farbe, einen unangenehmen Geruch, ist zum Einathmen nicht nur nicht tauglich, sondern höchst schädlich, und verursacht Husten, Schnupfen, Brustbeklemmungen, ja sogar den Tod, brennt nicht, gestattet aber anderen Körpern, wie z. B. einem Wachslichte, im Brennen fortzufahren, ja einige Körper, wie z. B. Spießglanz, entzünden sich darin von selbst; es zerstört alle organischen Körper, mit Ausnahme der Kohle, entfärbt sie aber anfangs, ferner die Miasmen, daher es zum Bleichen und zum Räuchern bei ansteckenden Krankheiten vorzüglich dient. Durch starke Compression wird es tropfbar dargestellt, und da bildet es eine sehr beweg-

liche, dunkel grünlichgelbliche Flüssigkeit, welche bei — 15° R. noch nicht gefriert. Leitet man Chlorgas durch Wasser, so wird es von demselben absorbirt, und das Wasser bekommt dann alle Eigenschaften des Gases; es ist grünlichgelb, riecht nach dem Gase, läßt dieses auch beim Erwärmen entweichen, und wird durch das Licht zersetzt; läßt man vom Wasser viel Chlorgas absorbiren, so setzen sich darin gelbliche Krystalle ab, die Chlor in Verbindung mit Wasser sind. Sie sind sehr flüchtig und lassen sich sublimiren, werden aber auch leicht in Chlorgas und Wasser zersetzt. Das Chlor verbindet sich mit dem Sauerstoffe in mehreren Verhältnissen, und liefert vier Säuren, nämlich die unterchlorige Säure Cl_2O, die chlorige Säure Cl_2O_4, die Chlorsäure Cl_2O_5 und die Ueberchlorsäure Cl_2O_7. Mit dem Wasserstoffe bildet es die Salzsäure H_2Cl_2, mit dem Stickstoffe einen, seiner gefährlichen Explosionen wegen bemerkenswerthen Stoff, den Chlorstickstoff.

Um Chlorgas zu bereiten, übergießt man Braunstein mit dem sechsfachen Gewichte Salzsäure und erwärmt das Ganze gelinde. 2 Atome Salzsäure 4 HCl und 1 Atom Braunstein MnO_2 zerlegen sich gegenseitig in 2 At. Wasser 2 H_2O und Manganchlorid $MnCl_4$. Letzteres zerfällt bei Erwärmung in Chlor und Manganchlorür, so daß eine Hälfte des Chlores der Salzsäure frei wird, die andere aber an das Mangan gebunden zurückbleibt. Mit gleichem Erfolge kann man auch Kochsalz, Braunstein und Schwefelsäure, der man etwas Wasser zugesetzt hat, anwenden; die durch Einwirkung der Schwefelsäure auf das Kochsalz sich bildende Salzsäure wird sogleich durch Vermittlung des Braunsteines auf die so eben erklärte Weise zerlegt. Die Anwendung des Chlors als Bleich- und Luftreinigungsmittel ist sehr wichtig. Man braucht heut zu Tage selten mehr dazu das Gas oder das Chlorwasser, sondern meistens Chlorkalk, Chlorkali oder Chlornatrum. Zum Behufe der Luftreinigung wird ein solcher Körper in einer flachen Schale mit Wasser übergossen und in der Luft stehen gelassen; zur Reinigung von Kleidern, Betten werden dieselben mit einer solchen Flüssigkeit gewaschen; Briefe werden durchstochen und mit Chlorgas geräuchert. Das Chlor wurde 1774 von Scheele entdeckt. Man hielt es bis 1810 für einen zusammengesetzten Stoff, den man als eine höhere Oxydationsstufe des Radicals der Salzsäure betrachtete, und daher oxygenirte Salzsäure nannte. Gay-Lussac und Davy's Untersuchungen begründeten die jetzt herrschende Ansicht.

Chlorgas und Wasserstoffgas mit einander gemengt wirken im Dunkeln nicht auf einander; am Tageslichte erfolgt die Verbindung des Chlors mit dem Wasserstoffe langsam, im Sonnenlichte mit Explosion. Das Product ist Salzsäure (Chlorwasserstoffsäure). Man erhält sie auch, wenn man Kochsalz mit 84 pCt. Schwefelsäure vorsichtig übergießt und hierauf erwärmt. Das Kochsalz ist Natriumchlorid $NaCl_2$; in Berührung mit Schwefelsäurehydrat (englischer Schwefelsäure) $SO_3 + H_2O$ entsteht schwefelsaures Natriumoxyd $NaO + SO_3$ und Chlorwasserstoffsäure H_2Cl_2. Sie erscheint als farbloses Gas, ist unathembar, weder brennend, noch das Brennen nährend, wird durch sehr starken Druck tropfbar flüssig, mit dem Wasser verbindet sich das Gas in hohem Grade begierig, und stellt deßwegen in feuchter Luft weiße Nebel dar; vom Wasser bis zur Sättigung verschluckt, gibt es die wässerige Salzsäure, welche der Dämpfe wegen, die sie ausstößt, rauchende

Salzsäure genannt zu werden pflegt. Ein Gemische von Salzsäure und Salpetersäure führt den Namen **Königswasser**, weil sich Gold darin auflöset.

91. Das **Brom** Br wurde im Jahre 1826 von **Balard** zuerst im Wasser aus dem mittelländischen Meere, nachdem das Kochsalz herauskrystallisirt war, gefunden, bald darauf aber auch aus dem Wasser des todten Meeres und aus vielen Salzsoolen und Mineralquellen ausgeschieden. Es erscheint bei der gewöhnlichen Luftwärme als dunkelbraune, in dünnen Schichten hyacinthrothe Flüssigkeit von äußerst unangenehmen Geruche (daher sein Name), verdünstet stark in der Luft, siedet schon bei 47° C., und friert erst bei — 18°, wo es dann als bleigraue, spröde, metallglänzende Masse erscheint, ist im Wasser, Alkohol und Aether, wohl auch im Baumöhl löslich, sinkt aber in der Schwefelsäure unverändert unter. Es färbt die Haut vorübergehend dunkelgelb, und bleicht Pflanzenfarben wie das Chlor.

92. Das **Jod** J wurde zuerst 1812 von **Courtois** in der Mutterlauge des Seetanges, später aber in mehreren Seepflanzen, im Kropfschwamme, selbst in Mineralien und in Quellen (Hall in Oberösterreich) gefunden. Es ist eine feste, dunkelgraue, fast wie Metall glänzende, leicht zerreibliche Substanz, welche die Haut vorübergehend schmutzig-gelb färbt, einen unangenehmen, dem Chlor ähnlichen Geschmack hat, stark auf den Organismus wirkt, sich schwer im Wasser, aber leicht im Weingeiste auflöset. Durch Wärme läßt es sich in ein schön violettes Gas verwandeln, welchem Umstande es seinen Namen verdankt. Brom und Jod verhalten sich gegen Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff ganz wie Chlor, und geben ähnliche Verbindungen.

93. **Fluor** F ist ein Stoff, der, wenn es ja gelungen ist, ihn isolirt zu erhalten, bisher wohl nur von **Davy** in sehr geringer Menge dargestellt worden seyn mag. Er soll als braune Substanz erschienen seyn. Doch ist an der Existenz des Stoffes nicht zu zweifeln. Er ist der einzige Körper, von dem man keine Sauerstoffverbindung mit völliger Bestimmtheit kennt. Mit dem Wasserstoffe gibt er die **Flußsäure** H_2F_2.

Die **Flußsäure** (Fluorwasserstoffsäure) erhält man durch Behandlung des Flußspathes (Calciumfluorides) mittelst Schwefelsäure auf ähnliche Weise, wie sich bei der Einwirkung von Schwefelsäure auf Kochsalz Chlorwasserstoffsäure bildet. Sie erscheint als Gas; dieses ist höchst irrespirabel, weder selbst brennbar, noch das Brennen anderer Körper unterhaltend, greift das Glas an, daher man es zum Aetzen desselben brauchen kann, und erregt auf der Haut schmerzhafte Geschwüre; es wird vom Wasser absorbirt, und ertheilt demselben seine, Kieselerde und Glas auflösende Kraft.

94. Der **Schwefel** S ist ein blaßgelber, undurchsichtiger, bei geringer Temperatur zerreiblicher, schwach schmeckender Körper, der in der Luft bei gehöriger Hitze mit einem erstickenden Geruche und einer bläulichen Flamme verbrennt. Wird er in verschlossenen Gefäßen über 111° C. erhitzt, so wird er weich und schmilzt endlich zu einer gelben, durchsichtigen öhlartigen Flüssigkeit, die bei 160° anfängt braun und

dickflüssig zu werden, und in Wasser gegossen, lange weich bleibt. Bei 316° siedet er und gibt einen pomeranzengelben Dampf, der sich an kältere Körper in fester Form (Schwefelblumen) anlegt. Der Schwefel ist im Wasser gar nicht, im Weingeist nur wenig auflöslich; mittelst Wärme bildet er mit Oehlen die sogenannten Schwefelbalsame. Er kommt in der Natur gediegen, selbst krystallisirt, häufiger in Verbindung mit Metallen vor, endlich auch in vielen organischen Körpern, z. B. in den Eiern, im Harn, in der Galle. Der Schwefel liefert mit Sauerstoff vier Verbindungen die sämmtlich Säuren sind, nämlich: Schwefelsäure SO_3, Unterschwefelsäure S_2O_5, schwefelige Säure SO_2 und unterschwefelige Säure S_2O_2. Mit dem Wasserstoffe geht er zwei Verbindungen ein, welche hydrothionige Säure (Wasserstoffschwefel) S_5H_2 und Hydrothionsäure SH_2 genannt werden. Mit dem Kohlenstoffe gibt er ein merkwürdiges Product, den Schwefelkohlenstoff CS_2. Auch verbindet er sich mit Stickstoff, Chlor, Brom, Jod.

Von der Schwefelsäure kommen im Handel zwei Sorten vor: die weiße englische und die braune sächsische (oder das Nordhauser Oehl). Erstere wird durch Verbrennen des Schwefels, unter Zusatz von Salpeter bereitet. Hier wird ein Theil der sich bildenden schwefeligen Säure auf Kosten der Säure des Salpeters oxydirt, und in Schwefelsäure verwandelt, welche mit dem Kali des Salpeters sich verbindet; die zerlegte Salpetersäure liefert Stickstoffoxyd, welches aus der atmosphärischen Luft Sauerstoff aufnimmt, in salpetrige Säure übergeht, die dann, wenn Wasser zugegen ist, sich wieder auf Stickstoffoxyd reducirt, um der schwefeligen Säure Sauerstoff abzutreten, damit Schwefelsäure, die eine große Verwandtschaft zum Wasser hat, sich bilde; das Stickstoffoxyd nimmt sodann aus der atmosphärischen Luft ein neues Sauerstoffquantum auf, welches wieder auf die schwefelige Säure übertragen wird u. s. w. Das Nordhauser Oehl wird durch Destillation des calcinirten Eisenvitriols erhalten. Die auf dem einen oder dem anderen Wege gewonnene Säure muß erst durch Destillation concentrirt und gereiniget werden. Die wässerige reine Schwefelsäure (ein Hydrat der wasserfreien Schwefelsäure, nämlich $SO_3 + H_2O$) ist ein wasserheller, geruchloser, wie Oehl flüssiger Körper, der alle Eigenschaften einer starken Säure hat, mit Wasser sich heftig erhitzt, selbes schon aus der Atmosphäre stark anzieht, und es überhaupt überall aus seinen Bestandtheilen zu bilden sucht. Daher kommt auch die zerstörende und verkohlende Kraft, mit welcher sie auf alle organischen Körper wirkt, und selbst das Schwarzwerden dieser Säure in Berührung mit organischen Stoffen oder mit der Luft, die organische Ausdünstungen enthält. Erhitzt man braune Schwefelsäure, die eine Verbindung des vorerwähnten Hydrates der Schwefelsäure, mit einem andern, weniger Wasser enthaltenden ist, in einer Retorte mit vorgelegtem gekühlten Ballon, so sammeln sich in letzterem asbestartige Krystalle, die wasserfreie Schwefelsäure SO_3 darstellen.

Schwefelige Säure SO_2 ist das erstickende Gas, das sich beim Verbrennen des Schwefels erzeugt, und das man auch erhält, wenn man Quecksilber mit Schwefelsäure übergießt und hierauf erhitzt. Es ist farblos, hat einen erstickenden Geruch, ist weder selbst brennbar, noch unterhält es das Brennen anderer Körper, bleicht thierische Substanzen, wird vom Wasser absorbirt, und so in tropfbare Säure ver-

wandelt, kann aber durch starke Erkältung oder durch einen nur etwas starken Druck tropfbar werden, und stellt dann eine wasserklare Flüssigkeit dar, welche schon bei — 10° C. siedet. Von Priestley 1777 zuerst als Gas rein dargestellt.

Die Hydrothionsäure (Schwefelwasserstoffsäure) entsteht, wenn man irgend ein Schwefelmetall, z. B. Schwefeleisen, mit verdünnter Schwefelsäure übergießt und das Ganze erwärmt. Um das Schwefeleisen zu erhalten, nimmt man ein mit Wasser angerührtes Gemenge von 2 Theilen Schwefel und 1 Theil Eisen; dadurch entsteht Schwefeleisenhydrat. Wird dieses mit Schwefelsäure behandelt, so oxydirt der Sauerstoff des Wassers das Metall, das Oxyd wird von der Schwefelsäure aufgenommen, der Wasserstoff des Wassers aber verbindet sich mit dem Schwefel zu Hydrothionsäure. Sie bildet ein farbloses, nach faulen Eiern riechendes, brennbares, für die Respiration höchst nachtheiliges Gas, das sich durch starken Druck auch tropfbar machen läßt. Das Gas wird vom Wasser aufgenommen, findet sich in Schwefelwässern natürlich damit verbunden, die man ihrer Heilkräfte wegen auch künstlich darstellt. Die wässerige Säure hat den Geruch des Gases und wird an der Luft zersetzt. Von Scheele 1772 zuerst untersucht.

Der Schwefelkohlenstoff, auch Schwefelalkohol genannt, entsteht wenn Schwefeldämpfe bei hoher Temperatur durch eine mit Kohlen gefüllte Röhre von Gußeisen oder Thon geleitet werden. Er ist eine tropfbare Flüssigkeit, erscheint durch Destillation rectificirt wasserhell und dünnflüssig, ist sehr flüchtig, riecht stark, ist leicht entzündlich, im Wasser, worin er zu Boden sinkt, unlöslich, löset Schwefel und Phosphor leicht auf. Von Lampadius 1796 entdeckt.

95. Selen Se ist ein spröder, in Masse bleigrauer, metallisch glänzender, gepulvert aber dunkelrother, durchscheinender, im Wasser unlöslicher Körper, der bei 100° weich, in höherer Temperatur gar flüssig wird, und sich beim Erkalten in Fäden ziehen läßt. Es siedet vor dem Glühen, und gibt dabei einen gelben Dampf, läßt sich entzünden und verbrennt mit Rettiggeruch und röthlichblauer Flamme. Man erhält das Selen aus dem röthlichen Schlamme, der sich beim Verbrennen des Schwefels absetzt, und auch aus einem besondern Mineral, dem Selenblei. Berzelius hat es im Jahre 1817 entdeckt.

96. Der Phosphor P ist ein wachsgelber, bei niederer Temperatur spröder, bei etwas hoher biegsamer, fettig glänzender Körper. Er leuchtet im Dunkeln, schmilzt und entzündet sich sehr leicht, darum er beständig unter Wasser aufbewahrt werden muß; er löset sich im Weingeiste schwer, in ätherischen Oehlen leicht auf, und gibt dann eine nicht so leicht brennbare, aber doch leuchtende Masse, die man zu Zündhölzchen oder zu leuchtender Pomade verwenden kann. Er findet sich in allen drei Naturreichen, besonders aber in thierischen Knochen, aus denen er auch meistens gewonnen wird. Der Phosphor bildet mit Sauerstoff drei Säuren, darunter die Phosphorsäure P_2O_5, und geht auch mit Wasserstoff, Stickstoff, Chlor, Brom, Jod, Schwefel und Selen Verbindungen ein. Er wurde 1669 von Brandt in Hamburg entdeckt.

Die Phosphorsäure bildet einen festen, äußerst feuerbeständigen, schwach sauer schmeckenden, im Wasser löslichen Körper. Sie wird

aus thierischen Knochen, deren Hauptmasse phosphorsaurer Kalk ist, durch Zerlegung des letzteren mittelst Schwefelsäure bereitet. Die Verbindung des Phosphors mit dem Wasserstoffe erscheint als ein farbloses, unangenehm riechendes Gas, das sich an der Luft von selbst entzündet, aber diese Eigenschaft ohne Veränderung seiner Zusammensetzung durch längere Aufbewahrung verliert und sie auch wieder bekommen kann. Man erhält es selbstentzündlich, obgleich minder rein, wenn man Phosphor in Aetzlauge vorsichtig kocht, oder auch wenn man Phosphorstückchen mit Aetzkalk mengt, Wasser zusetzt und das Ganze erwärmt. Am reinsten bildet es sich durch Erhitzen wasserhältiger phosphoriger Säure. Wurde von Davy 1812 entdeckt.

97. Bor B, von Gay-Lussac und Thenard 1810 zuerst dargestellt, wird durch Zersetzung der Borsäure mittelst Kalium erhalten, und erscheint als undurchsichtiges, dunkelgrünes, stark abfärbendes, geruch- und geschmackloses Pulver, das sich, frisch bereitet und bevor es geglüht wird, im Wasser auflöset und in der Luft bei der gewöhnlichen Temperatur unverändert bleibt, bei erhöhter Temperatur hingegen mit Funkensprühen verbrennt. Bor und Sauerstoff geben die Borsäure BO_3; auch mit den andern Stoffen verbindet es sich.

98. Kiesel (Silicium) Si, im J. 1824 von Berzelius zuerst rein dargestellt, wird aus kieselflußsaurem Natrum mittelst Kalium erhalten. Es ist ein fester, glanzloser, dunkelbrauner, stark schmutzender, unschmelzbarer Körper, der viel Aehnlichkeit mit Bor hat, und sich zu ihm wie Selen zu Schwefel, oder wie Chlor zu Jod verhält. Kiesel bleibt im Sauerstoffgas unverändert, nur wenn es kürzlich bereitet und noch nicht in der Luft erhitzt worden ist, kann es darin durch gelindes Erhitzen zum Verbrennen gebracht werden, wo es die Kieselsäure gibt; es brennt auch in Chlorgas und bei hoher Temperatur in Schwefeldunst; mit Salpeter kann man es glühen, ohne es dadurch zu verändern, aber mit kohlensaurem Kali vermengt, und dann bis zum Glühen erhitzt, detonirt es. Es geht mit vielen Körpern Verbindungen ein, und liefert Producte, worunter das merkwürdigste die Kieselsäure SiO_3 ist, die man einst unter die Erden zählte, und Kieselerde nannte.

99. Die noch erübrigenden Grundstoffe sind insgesammt Metalle. Es hat zwar jedes Metall seinen eigenthümlichen Charakter, aber alle zusammen haben auch so viel Gemeinschaftliches, die metallische Natur überhaupt charakterisirendes, daß es für unsern Zweck genügt, nur diese allgemeine Charakteristik hier kurz zu entwerfen. Die Metalle unterscheiden sich von anderen Grundstoffen durch ihren eigenthümlichen Glanz, ihre Undurchsichtigkeit und Unauflöslichkeit im Wasser. Sie heißen im reinen Zustande Metallkönige oder regulinische Metalle. Wenige derselben kommen in der Natur in diesem Zustande vor, die meisten finden sich vererzt (mit Schwefel verbunden), verlarvt (in Verbindung mit anderen Metallen), oder oxydirt. Mehrere Metalle sind hämmerbar und streckbar, sie lassen sich zu Platten walzen, zu Draht ziehen 2c., wie z. B. Gold, Silber, Platin, Ku-

ysir; andere sind spröde, wie Spießglanz, Wismuth; deßhalb theilte man sie einst in ganze (streckbare) und in Halbmetalle ein, ungeachtet sich zwischen beiden keine feste Grenze angeben läßt, und dasselbe Metall durch bloß mechanische Behandlung dehnbar oder spröde werden kann, mithin bald in die eine, bald in die andere Classe gehören müßte. Alle Metalle sind schmelzbar, jedoch fordert jedes Metall einen eigenen Hitzegrad zum Schmelzen. So ist das Quecksilber schon bei der gewöhnlichen Luftwärme flüssig, Kalium und Natrium sind bei derselben Temperatur weich. Zinn, Blei, Wismuth schmelzen im leichten Ofenfeuer, während kaum das stärkste Feuer Eisen, Uran, Titan, Platin zu schmelzen vermag. Kalium, Natrium, Eisen und Platin werden vor dem Zerfließen weich, können daher geschweißt werden, andere Metalle bleiben aber hart bis zum Augenblicke des Schmelzens, ja einige werden vorher noch härter. Alle Metalle können in Dämpfe verwandelt werden. Quecksilber, Zink, Arsenik verflüchtigen sich leicht; Gold, Platin erst bei der größten Hitze. Beim Erkalten krystallisiren alle Metalle unter günstigen Umständen. Bei den spröden läßt sich das Krystallgefüge am leichtesten erkennen. Die meisten Metalle lassen sich mit einander verbinden und geben Gemische, die man Legirungen, oder wenn Quecksilber einen Bestandtheil ausmacht, Amalgame nennt. Diese Gemische sind meistens härter, elastischer und minder dehnbar, als die Bestandmetalle, wie man es am Messing (Kupfer und Zink), Kanonengut, Glockengut (Kupfer und Zinn), Packfong (Kupfer, Zink und Nickel) ꝛc. sieht; sie sind leichter schmelzbar (leichtflüssige Mischungen aus Wismuth, Blei und Zinn), bilden daher für die einfachen Metalle die Lothe, und krystallisiren leichter als die einfachen Metalle. Einige Metalle hängen schon zusammen, wenn nur eines davon flüssig ist. Darauf beruht das Löthen, Vergolden, Versilbern ꝛc.

100. Alle Metalle verbinden sich mit Sauerstoff, Chlor, Schwefel; wenige mit Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Bor, Silicium. Die Verbindungen mit Phosphor, Brom, Jod und Fluor sind noch wenig untersucht. Durch Sauerstoff verlieren die Metalle ihren Glanz, ihre Consistenz und werden nicht selten im Wasser auflöslich. Einige oxydiren sich schon bei der gewöhnlichen Luftwärme und entreißen den Sauerstoff sogar dem Wasser, wie z. B. Kalium, welches auf Wasser gebracht unter solcher Temperaturerhöhung sich in Kali umwandelt, daß das frei werdende Wasserstoffgas mit Flamme verbrennt; andere aber müssen erhitzt werden, um den Sauerstoff aufzunehmen, wie z. B. Quecksilber; andere nehmen den Sauerstoff aber selbst in der größten Hitze nicht auf, und können daher nur durch Sauerstoffsäuren oxydirt werden, wie Gold, Platin. Hierauf beruht die alte Eintheilung der Metalle in edle und unedle. Einige Metalle oxydiren sich durch und durch, wie Eisen; andere überziehen sich nur an der Oberfläche mit Oxyd, werden aber im Innern durch die äußere Rinde vor der ferneren Oxydation geschützt, wie Kupfer, Bronze. Alle Metalloxyde sind feste Körper. Von einigen Metallen gibt es nur ein Oxyd, von

den meisten zwei, von einigen sogar vier und fünf. Ihrem chemischen Verhalten nach sind die meisten Oxyde entschiedene Basen, doch haben andere wieder den sauren Charakter, und während viele Metalle bloß basische Oxyde liefern, geben mehrere theils basische Oxyde, theils Säuren und einige wenige vorzugsweise Säuren.

Die Oxyde von Kalium, Natrium und Lithium, nämlich das sogenannte Kali, Natrum und Lithion, heißen insbesondere Alkalien; sie sind im Wasser leicht löslich, und bemächtigen sich dessen, wenn sie im Contact mit demselben bereitet werden, so, daß man sie in der Regel nur im Hydratzustande erhält; sie haben einen eigenen brennenden Geschmack, greifen organische Substanzen an und zerstören sie mit der Zeit, darum man sie ätzend nennt; sie sind schmelzbar und lassen sich sogar verflüchtigen, ihre Dämpfe haben einen eigenthümlichen Geruch, von dem man an den festen Massen oder an den Lösungen nichts bemerkt. Sie liefern mit Oehlen und Fettarten im Wasser lösliche Seifen. Mit diesen Oxyden hat das Ammoniak in Betreff der Salze, die es mit Säuren erzeugt, die auffallendste Aehnlichkeit; man nennt es daher flüchtiges Alkali, und kann es als das Ergebniß der Oxydation des Ammoniums betrachten (85), von welchem nicht isolirt darstellbaren Stoffe man ein Amalgam kennt, womit sich seine metallische Natur zu verrathen scheint. An der Luft nehmen die Alkalien Kohlensäure auf und werden dadurch milde. Die Oxyde von Barium, Strontium, Calcium, Magnesium, nennt man ihres erdartigen Aussehens wegen alkalische Erden, nämlich Baryt-, Strontian-, Kalk- und Bittererde; sie stehen den Alkalien sehr nahe, besitzen Aetzkraft und sind nicht minder entschiedene Salzbasen als diese, nur ist ihre Löslichkeit im Wasser geringer, sie geben mit Oehlen im Wasser unlösliche Seifen und sind einzeln für sich nicht schmelzbar. Die Oxyde von Aluminium, Glycium (Beryllium), Zirconium, Yttrium, Thorium, nämlich die Thon- oder Alaun-, die Glycin- (Beryll-), Zircon-, Ytter- und Thorerde bilden die Gruppe der eigentlichen Erden, es fehlt ihnen die Aetzkraft, die Löslichkeit im Wasser, welches davon höchstens nur sehr geringe Quantitäten aufnimmt, und daher haben sie auch keinen Geschmack und zeigen keine Wirkung auf die Pflanzensäfte. Manche der übrigen Metalloxyde geben in Bezug auf basische Natur und damit zusammenhängende Reaction auf die Pflanzensäfte den alkalischen Erden nichts nach, wie z. B. Zinkoxyd, Bleioxyd. In Hinsicht auf die Beschaffenheit und Menge der Oxyde sind merkwürdig: das Arsen, es liefert bloß Säuren und zwar die arsenige Säure (weißer Arsenik, als Rattengift bekannt) und die Arsensäure (As_2O_3 und As_2O_5, obwohl Andere auch noch ein Arsensuboxyd annehmen); das Mangan, von ihm hat man das Manganoxydul (MnO), Manganoxyd (Mn_2O_3), Manganhyperoxyd (MnO_2), die Mangansäure (MnO_3) und die Uebermangansäure (Mn_2O_7); das Blei, es gibt ein Bleioxyd (PbO), ein Bleihyperoxydul (Pb_2O_3) und ein Bleihyperoxyd (PbO_2) (das rothe Bleioxyd oder Mennig ist eine Verbindung des ersten mit dem letzten); das Eisen, von ihm kennt man ein Oxydul (FeO), ein Oxyd (Fe_2O_3) und ein Oxyduloxyd ($FeO + Fe_2O_3$) u. s. w. Nicht minder interessant als die Oxyde der Metalle sind die Chlor- und die Schwefelmetalle, deren weitere Erörterung jedoch die Grenzen dieses Lehrvortrages überschreitet.

Einige Metalle kennt man seit den ältesten Zeiten, wie Gold, Silber, Quecksilber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, oder hat sie doch schon vor mehreren hundert Jahren hinreichend von andern unterschieden, wie das Wismuth, Zink, Antimon. Von manchen kannte man die

Oxyde seit Langem, und es gelang erst in neuerer Zeit die Metalle selbst daraus zu reduciren; nicht wenige aber gehören ganz der neuesten Zeit an. Den Kobalt reducirte Brandt 1733, den Nickel Cronstedt 1751, das Mangan Gahn 1774, das Tellur Müller von Reichenstein 1782, das Molybdän Hielm 1782 (aus der 1778 von Scheele entdeckten Molybdänsäure), das Wolfram d'Elhuyart 1785 (aus dem 1781 von Scheele entdeckten Oxyde), das Uran Klaproth 1789, das Titan Gregor 1791, das Chrom Vauquelin 1797, das Tantal Hatchett 1801. Die Begleiter des Platins, das 1741 nach Europa kam, nämlich das Palladium, Rhodium, Iridium, Osmium wurden, die beiden ersten von Wollaston 1803 und 1804, die beiden andern von Tennant 1803 entdeckt. Die glänzende Entdeckung der Metalle der Alkalien und alkalischen Erden durch Davy 1807 bildet einen besonderen Abschnitt in der Geschichte der Chemie. Funde neuerer Zeit sind das Lithium durch Arfvedson 1817, das Cadmium durch Hermann und Stromeyer 1817, das Yttrium durch Wöhler 1828, das Thorium durch Berzelius 1828, das Vanadin durch Sefström 1830, das Lanthan durch Mosander 1839, welcher bereits 1825 das bis jetzt für einfach gehaltene Cer aus dem 1807 von Klaproth und Berzelius entdeckten Oxyde darstellte.

101. Unter den zusammengesetzten Stoffen gewähren die organischen ihrer Mannigfaltigkeit und Eigenthümlichkeiten wegen ein besonderes Interesse. Sie bestehen im Allgemeinen aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff. Viele derlei Körper enthalten nur die drei zuerst genannten Elemente, andere aber alle vier, nur wenige bestehen bloß aus Kohlenstoff und Wasserstoff; es gibt jedoch keinen, dem der Kohlenstoff fehlte, ja dieser ist in den organischen Stoffen fast durchgehends sogar in mehr als einem Atom enthalten. Sämmtliche Elemente kommen oft in großer Anzahl vor, worin der Grund der außerordentlichen Vielfältigkeit ihrer Producte liegt.

Darum waren der organischen Chemie lange zwei große Schwierigkeiten im Wege; erstens die Zustandebringung richtiger Elementar-Analysen der organischen Gebilde, denn ein geringer Fehler hierin ändert die Zusammensetzungsformel eines Stoffes; zweitens die Umstaltung der durch Analyse erhaltenen, also rein empirischen Formeln in rationelle, welche über die Beziehung der Stoffe zu einander Licht geben. Beide Schwierigkeiten wurden erst in neuester Zeit, vornehmlich durch Liebig, den Gründer des gegenwärtigen blühenden Zustandes der organischen Chemie, gehoben.

102. Durch sorgfältige Betrachtung der Resultate, welche sich ergeben, wenn man die organischen Stoffe einer Reihe von Veränderungen planmäßig unterwirft, ist man zur Ueberzeugung gekommen, daß diese Stoffe als Verbindungen gewisser zusammengesetzter Radicale mit verschiedenen einfachen und zusammengesetzten Stoffen betrachtet werden können, so daß sich Gruppen bilden lassen, deren jede sich auf ein eigenes Radical als Anfangspunct und gemeinschaftlichen Bestandtheil aller Glieder gründet, und welche wegen des übereinstimmenden Wechsels des zweiten Bestandtheiles einander gleichsam parallel laufen.

Diese Radicale, welche ganz die Rolle einfacher Stoffe spielen, lassen sich nur in wenigen Fällen isolirt darstellen; sie müssen demnach als bloß hypothetische Stoffe angesehen werden, haben aber darum nicht weniger Gewißheit, als Fluor und wasserfreie Salpetersäure, an deren Daseyn nicht gezweifelt wird, ungeachtet ihre isolirte Darstellung problematisch oder gar unmöglich ist. Zwei darstellbare dieser Radicale, Kohlenoxyd (CO) und Cyan (CN oder vielmehr C_2N_2), wurden bereits oben angeführt; ein anderes darstellbares Radical ist das von Liebig entdeckte Mellon (C_6N_8); bloß hypothetische Radicale sind Benzoyl ($C_{14}H_{10}O_2$), Aethyl (C_4H_{10}), Acetyl (C_4H_6) u. m. a.

103. Die meisten organischen Verbindungen sind sauerstoffhältig und besitzen den Charakter der Oxyde. Diese Analogie mit den Oxyden geht so weit, daß einige derselben als entschieden sauer, andere als basisch auftreten. Eine große Zahl organischer Stoffe ist aber in so geringem Grade Säure oder Basis, daß sie Säuren gegenüber die Rolle einer Basis, Basen gegenüber die Rolle einer Säure spielen und man dieselben lieber für indifferent halten möchte.

Viele organische Säuren wetteifern in Bezug auf Verwandtschaft zu Basen mit starken anorganischen Säuren und die meisten sind krystallisirbar. Keine natürlich vorkommende Pflanzensäure enthält Stickstoff und jede derselben mehr Sauerstoff als nöthig ist, um mit ihrem Wasserstoff Wasser zu bilden. Viele Säuren kommen sehr allgemein vor, wie z. B. Weinsäure, Essigsäure, Citronsäure, Aepfelsäure, Gerbsäure, und zwar theils frei, wie die Citronsäure, theils an Basen gebunden, wie Weinsteinsäure an Kali im Weinstein; andere aber sind nur gewissen Körpern eigen, wie z. B. die Margarin-, Stearin- und Oleinsäure den Fettarten, die Buttersäure und Capronsäure der Butter, die Hircinsäure dem Bockstalg, die Oenantsäure dem Weine u. dgl. Die meisten organischen Basen sind feste meist krystallisirbare Körper, enthalten sämmtlich Stickstoff, finden sich ausschließend und zwar an Säuren gebunden im Pflanzenreiche, und machen in solchen Vegetabilien, die sich durch ihre Giftigkeit oder ihre Heilkräfte auszeichnen, den wirksamen Bestandtheil aus. So ertheilt das Morphin dem Opium, das Chinin der Chinarinde, das Strychnin den Krähaugen, das Emetin der Ipecacuanha, das Atropin dem Tollkraut, das Coniin dem Schierling ihre Wirksamkeit. Viele dieser Basen besitzen alkalische Eigenschaften. Der größte Theil der organischen Stoffe aber scheint indifferenter Natur zu seyn, zumal da ihren Verbindungen mit Säuren oder Basen der eigentliche Charakter eines Salzes fehlt. Doch läßt sich mit Hülfe der Analogie in mehreren Fällen die etwas weniger deutlich ausgesprochene Beziehung der Stoffe zu einander erkennen, und eine genügende Uebersicht ihres Zusammenhanges gewinnen. Einige dieser indifferenten Stoffe machen im Allgemeinen die wahren Bestandtheile der Pflanzenkörper aus, als: Stärke, Gummi, Pflanzenschleim, Pflanzenleim, Pflanzeneiweiß, Zucker, Oehle, Harze; andere kommen nur in gewissen Arten vor, wie Alizarin in der Färberröthe (Krapp), Indig im Indigo, Piperin im Pfeffer, Amygdalin in den bitteren Mandeln und im Kirschlorber, Glycyrrhicin im Süßholze u. s. w.

104. Der Charakter eines organischen Stoffes wird durch die eigenthümliche Art, wie sich seine Elemente vereinigt haben, bestimmt.

In jedem solchen Körper übt das Radical zu dem Stoffe, mit dem es verbunden ist, in dem Maße eine Anziehung aus, als die einfachen Bestandtheile des einen Stoffes jene des andern afficiren, welche Wirkung durch die Anziehung modificirt wird, die unter den Elementen jedes Bestandtheiles selbst Statt findet. Das Fortbestehen eines bestimmten Zustandes der Gruppirung setzt einen stabilen Gleichgewichtszustand dieser Kräfte, d. h. einen solchen voraus, wo bei einer nur geringen Verschiebung der Elemente ein Bestreben obwaltet, in ihre frühere Position zurückzukehren. Allein partielle Gleichgewichtszustände unter den einander gegenüber stehenden Elementen sind mehrere möglich; sobald nur durch irgend eine passende Veranlassung das ihrer Bewegung entgegenstehende Hinderniß überwunden wird, ändert sich ihre Anordnung, und der Körper erleidet eine Metamorphose. Solche Veranlassungen sind vornehmlich: 1) Aenderung der Stellung oder der Beweglichkeit der Elemente durch Wärme; 2) Berührung mit einem Stoffe, der selbst keine Verbindung mit den Elementen eingeht, sondern nur sie unter einander in Bewegung setzt. In beiden Fällen können auch die Elemente eines dritten Stoffes mitwirken und in die Producte der Metamorphose eingehen.

105. Erhitzt man einen stickstofffreien organischen Körper in einem Gefäße ohne Zutritt der äußeren Luft, eine Operation, die man trockene Destillation zu nennen pflegt, so theilt sich sein Kohlenstoff in seinen Sauerstoff und Wasserstoff; es bilden sich Kohlenoxyd und Kohlensäure auf der einen, gasförmige, tropfbare und feste Kohlenstoffverbindungen auf der anderen Seite, und wenn Kohlenstoff im Ueberflusse vorhanden ist, bleibt zuletzt Kohle zurück. Es vereinigen sich also die Bestandtheile des der Operation unterworfenen Körpers mit oder ohne Abscheidung von Kohle zu neuen Verbindungen einfacherer Radicale. Verfolgt man diese Verbindungen vom Anfange der Operation näher, so findet man, daß die Producte nach Maßgabe der angewendeten Temperatur verschieden sind. Zuerst und so lange die Temperatur nicht hoch genug ist, entstehen Säuren mit einfachem Radical, Kohlensäure und brennbare Flüssigkeiten. Später, wenn die Temperatur höher steigt, werden diese letztern Producte abermal zersetzt, ihr Sauerstoff vereinigt sich mit Kohlenstoff und Wasserstoff zu Kohlenoxyd, Kohlensäure und Wasser, mithin zu noch einfacheren Verbindungen, es scheidet sich Kohle ab, und der Rest gibt mit Wasserstoff feste und flüssige öhlartige Körper. Endlich zuletzt erhält man nur Kohle und Gase, und zwar Kohlensäure, Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoff. Stickstoffhältige Körper bilden unter denselben Umständen zuerst Ammoniak oder Cyansäure, zuletzt Blausäure. Begreiflich enthält das Gesagte nur den allgemeinen Abriß eines Vorganges, der nach Maßgabe der Beschaffenheit des Gegenstandes der Destillation und der Leitung letzterer durch die Wärme, eine große Mannigfaltigkeit der Erscheinungen zeigt, und in den einzelnen Perioden die verschiedenartigsten Gebilde hervorruft, aus welchen durch geeignete

Behandlung wieder andere zu Stande kommen. Hieher gehört die Destillation des Holzes, der Steinkohlen, der Harze, Fette u. s. w. mit ihrem Heere von primären und secundären Producten.

116. Unter den Metamorphosen, welche organische Körper durch Berührung mit einem anderen erleiden, der selbst keine Verbindung eingeht, behaupten mehrere für das practische Leben sehr wichtige Vorgänge, welche man unter der gemeinschaftlichen Benennung Gährung zusammen zu fassen pflegt, den ersten Rang. Jedermann weiß, daß man einen organischen Stoff durch einen bereits im Verbrennen begriffenen anzünden, mithin in ihm dieselbe Veränderung hervorrufen kann, die jener selbst erleidet. Auf ähnliche Weise wirken in einer bestimmten Action begriffene Körper auf solche, mit denen sie in Berührung stehen, sie machen nämlich letztere fähig, dieselbe Veränderung zu erleiden, der sie selbst unterliegen, ohne übrigens an dieser Veränderung einen weiteren Antheil zu nehmen. Ein merkwürdiges Beispiel bietet der Zucker dar, wenn man einer Lösung desselben in Wasser eine verhältnißmäßig geringe Portion Hefe (Ferment) zusetzt, und sodann das Ganze in einer gleichmäßigen Temperatur zwischen 10° und 30° C ungestört sich selbst überläßt. Da erwärmt sich die Masse, trübt sich, gewinnt an Volum und entwickelt häufige Luftblasen, die sich als Kohlensäuregas charakterisiren. Nach und nach wird die Masse wieder klar, nimmt die Temperatur der Umgebung an, schmeckt nicht mehr süß, sondern geistig und ist berauschend. Dieses rührt davon her, daß sich in selber statt Zucker Alkohol oder Weingeist befindet. Man nennt diese Metamorphose, welche eben so der Traubensaft und andere süße Pflanzensäfte unter den gehörigen Umständen erleiden, die geistige oder Weingährung. Chemisch betrachtet besteht diese Veränderung darin, daß der Zucker, er mag nun Rohr- oder Traubenzucker gewesen seyn, durch die Einwirkung des Ferments in Kohlensäure und Alkohol zerfällt, wovon erstere entweicht, letzterer aber in der Flüssigkeit zurückbleibt, aus welcher er sich leicht abscheiden läßt.

Zu näherer Beleuchtung des Processes der geistigen Gährung mögen nachstehende Bemerkungen dienen: Es ist 1 Atom Traubenzucker $= C_{12} H_{24} O_{12}$ welchen Ausdruck man auch unter der Form

$$C_8 H_{24} O_4 + C_4 O_8 = 2 C_4 H_{12} O_2 + 4 CO_2$$

darstellen kann. Aber $C_4 H_{12} O_2$ ist die Zusammensetzung des Alkohols und CO_2 jene der Kohlensäure; es kann daher 1 Atom Traubenzucker als die Verbindung von 2 Atomen Alkohol mit 4 Atomen Kohlensäure betrachtet werden. Rohrzucker, dessen Formel $C_{12} H_{22} O_{11}$ ist, nimmt vorher noch 1 Atom Wasser auf, und verwandelt sich dadurch in Traubenzucker. Man kann die Realität dieser Umwandlung auch durch andere Vorgänge bestätigen; z. B. erhitzt man eine wässerige Lösung von Rohrzucker lange Zeit, so geht der Rohrzucker wirklich in Traubenzucker über, was durch Zusatz von Schwefelsäure sehr beschleunigt werden kann. Die natürlich vorkommenden zuckerhältigen Pflanzensäfte bedürfen zur Hervorrufung dieser Veränderung des Zusatzes von Ferment nicht, weil sie einen stickstoffhältigen Bestandtheil ent-

halten, der sich in Berührung mit Luft oder mit Kohlensäure in Ferment umsetzt. Sie erleiden daher, wenn nur sonst die gehörigen Umstände vorhanden sind, gleichsam von selbst die Zerfällung ihres Zuckergehaltes in Kohlensäure und Alkohol. Dieß ist der Fall bei dem Traubensafte, dem Malzdecoct, Runkelrüben- oder Zuckerrohrsaft rc., welche in Ruhe und bei mäßiger Temperatur sich selbst überlassen in Wein, Bier, Rum rc. verwandelt werden. Das Ferment setzt sich hier, wie bei der Gährung der mit Hefe versetzten Zuckerlösung, zu Boden, und kann gebraucht werden, um andere Quantitäten Zucker in Gährung zu bringen, außer man hat es zuvor getrocknet, oder auf 100° C erhitzt, oder mit Alkohol, Säuren, Alkalien rc. behandelt, wodurch die Eigenschaft, Gährung zu erregen, verloren geht. Dasselbe geschieht auch, wenn man dem an und für sich gährungsfähigen Safte verschiedene Substanzen, die sich der Erfahrung zu Folge, als Hinderungsmittel der Gährung zeigen, zusetzt, als: schwefelige, salpetrige oder arsenige Säure, Quecksilberchlorid, Kochsalz, Holzessig, ätherische Oehle, ja selbst ein Uebermaß von Zucker (eingemachte Früchte). Wenn Stoffe, die keinen Zucker enthalten, gährungsfähig erscheinen, so geschieht dieses dadurch, daß Bestandtheile derselben zuvor mittelbar oder unmittelbar in Zucker umgewandelt werden. Dieses ist der Fall z. B. bei Stärkmehl, das demnach auch geeignet ist durch Gährung Alkohol zu liefern. Dasselbe verwandelt sich nämlich zuerst in Gummi und hierauf in Zucker. Dieß erklärt, wie man aus Getreide, Erdäpfeln rc. Branntwein gewinnen kann. Ueberhaupt wird man sich nach dem hier Gesagten von Allem, was die Erfahrung in Bezug auf Bereitung geistiger Getränke lehrt, ohne Anstand Rechenschaft geben können. So wird man einsehen, warum saure Trauben schlechten oder nur schwachen Wein geben, warum Bier um so stärker wird, je mehr Malz man zu dessen Bereitung anwendet. Stoffe, die viel Zucker enthalten, verlieren ihn nicht ganz bei der ersten heftigen Gährung, und geben daher ein zugleich berauschendes und süßes Getränke, wie die sogenannten Ausbrüche, den Meth rc. Trauben unter Quecksilber gepreßt und ganz von der Luft abgesperrt, geben, da hier die Bildung des Ferments ausbleibt, keinen Wein. Uebrigens dauert die Weingährung, selbst wenn das Kohlensäuregas nicht entweichen kann, sondern sich über dem gährendem Moste verdichten muß, noch eine geraume Zeit fort; daher Weine mit der Zeit immer stärker werden, aber wenn sie süß sind, nach und nach diesen Geschmack verlieren, und auch, wenn sie freie Saure enthalten, dieselbe absetzen und milder werden. Wird guter Wein nach der ersten Gährung in ein Gefäß luftdicht eingeschlossen, so nimmt er die bei der ferneren Gährung entwickelte kohlensaure Luft auf, und gibt sie erst nach dem Oeffnen des Gefäßes allmälig wieder von sich, wie dieses mit dem moussirenden Champagner, Bouteillenbier rc. der Fall ist. Die große Menge des bei der Weingährung sich entwickelnden Kohlensauregases gestattet auch dieses zu technischen Zwecken, z. B. zur Bereitung kohlensaurer Salze nutzbringend zu machen, ja man leitet zu diesem Zwecke mit Vortheil selbst künstlich eine Gährung ein. Die weinige Gährung findet auch bei dem Zurichten des Teiges zu Brod und anderem Gebäcke eine wichtige Anwendung; der Zuckergehalt des Mehles liefert durch die mittelst seines Klebers oder auch durch Beihülfe eines Fermentes eingeleitete Gährung des Teiges Kohlensäuregas, das zu dessen Auflockerung wesentlich nothwendig ist.

107. Man kann den **Alkohol** nicht unmittelbar aus seinen *Bestandtheilen:* Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff zusammen-

setzen, sondern gewinnt ihn lediglich aus Stoffen, welche die weinige Gährung durchgemacht haben, mittelst Destillation. Wiederholt man diese Operation mehrere Male, so erhält man den Alkohol in bedeutend concentrirtem Zustande, und kann ihm durch geeignete Behandlung mit Substanzen, die eine große Verwandtschaft zum Wasser haben, z. B. Chlorcalcium, auch noch den letzten Antheil desselben entziehen. In diesem Zustande heißt er absoluter Alkohol und erscheint als wasserhelle, leicht bewegliche, dünne, äußerst scharf schmeckende, flüchtige, bei 78° C. siedende, entzündliche, Harze und Oehle auflösende Substanz, die das Gepräge dieser Eigenschaften auch in Verbindung mit Wasser, mit dem sie sich sehr gerne mischt, beibehält. Der Alkohol ist dem Physiker wegen mehrfältigen Gebrauches, vornehmlich als reinliches Brennmaterial wichtig. Er liefert unter dem Einflusse chemischer Kräfte mehrere höchst merkwürdige Stoffe, darunter den, dem Physiker wegen seiner großen Flüchtigkeit besonders willkommenen Aether (auch Schwefeläther genannt) eine wasserhelle, dünnflüssige Substanz, die schon bei 36° C. siedet. Der Aether wird durch Behandlung des Alkohols mit Schwefelsäure, deren Endresultat Wasserentziehung ist, gewonnen.

Man kann den Alkohol $C_4 H_{12} O_2$ als eine Verbindung des Aethers $C_4 H_{10} O$ mit 1 Atom Wassers betrachten. Der Aether selbst läßt sich als Oxyd des Aethyls $Ae = C_4 H_{10}$ ansehen, welches hypothetische Radical der Anfangspunct einer sehr interessanten Reihe zusammengesetzter Stoffe ist. Bei der Aetherbereitung bildet sich durch Verbindung der Schwefelsäure mit dem im Alkohol enthaltenen Aether zunächst Weinschwefelsäure oder saures schwefelsaures Aethyloxyd, das sich wieder bei höherer Temperatur zerlegt.

108. Der Alkohol ist in Berührung mit sauerstoffhältigen, oder die Oxydirung an der Luft vermittelnden Körpern einer weiteren Umänderung fähig, wodurch er höher oxydirt und in Essigsäure umgewandelt wird. Dieser Vorgang führt den Namen Essiggährung. Sie setzt nothwendig Alkohol und daher die geistige Gährung voraus, und fordert zu ihrem Eintreten überdieß noch eine Temperatur von 25°—35° C., flüssigen Zustand, und Berührung mit der Luft. Die Oxydirung selbst vermitteln gewisse organische Körper, wie z. B. Ferment, schon gebildeter Essig u. dgl., auch fein zertheiltes Platin. Während dieser Gährung wird die Masse trübe und bedeckt sich mit einer kahmigen Haut. Wenn sie sich wieder geklärt hat, besitzt sie keine berauschende Eigenschaft mehr, schmeckt nicht mehr geistig, sondern sauer, kurz sie ist Essig geworden.

Der chemische Verlauf bei der Essiggährung ist, wie Liebig gezeigt hat, folgender: Der Alkohol nimmt 2 Atome Sauerstoff aus der Luft auf, die sich mit 4 Atomen seines Wasserstoffes zu Wasser verbinden. Dadurch geht der Alkohol ($C_4 H_{12} O_2$) in Aldehyd ($C_4 H_8 O_2$) über. Dieser Stoff verbindet sich nun mit 2 Atomen Sauerstoff aus der Luft, und so entsteht Essigsäurehydrat ($C_4 H_8 O_4$). (Die Formel der wasserfreien Essigsäure ist $C_4 H_6 O_3$.) Es erfolgt also der Uebergang des Alkohols in

Essigsäure nicht unmittelbar, sondern erst mittelst des Aldehyds, das vorher gebildet werden muß. Daraus kann man ersehen, daß die Essigerzeugung nur bei gehörigem Zutritt atmosphärischer, und Abfluß der des Sauerstoffes beraubten Luft gehörig vor sich gehen kann, indem bei mangelhaftem Luftzutritt nur der erste Schritt erfolgt, d. i. nur Aldehyd entsteht, welches, wenn es nicht im Momente seiner Entstehung Sauerstoff vorfindet, um alsogleich in Essigsäure überzugehen, verflüchtiget wird. Es ist nämlich der Siedepunct des wasserfreien Aldehyds nur 22° C., jener der Mischung desselben mit 3 Theilen Wasser 37° C., und bei 30° C. geht die Essigbildung am raschesten vor sich. Wird aber der Flüssigkeit das Aldehyd entzogen, so verhält sich die Sache gerade so, als ob ursprünglich kein Alkohol vorhanden gewesen wäre, das Material zur Essigbildung ist verloren gegangen, und der Rückstand geht in Fäulniß über.

Die Kette der Stoffe, wozu das Aldehyd und die Essigsäure gehören, gibt zur Aufstellung eines besonderen Radicals, des Acetyls C_4H_6 Veranlassung. Man kennt bis jetzt kein erstes Oxyd desselben im isolirten Zustande; das Aldehyd ist das Hydrat des Acetyloxydes, und die Essigsäure ist Acetylsäure, in welcher das Radical 3 Atome Sauerstoff aufgenommen hat.

109. Viele organische Körper, besonders die stickstoffhältigen, erleiden unter günstigen Verhältnissen noch eine andere Metamorphose, welche Fäulniß oder Verwesung genannt wird, und deren Resultat verschieden ausfällt, nach Maßgabe der faulenden Körper und der bei der Fäulniß obwaltenden Umstände, insbesondere je nachdem die atmosphärische Luft mit ihrem Sauerstoffgehalte daran Antheil nimmt oder nicht. Stickstofffreie organische Körper bedürfen, um diese Metamorphose zu erleiden, die Berührung mit bereits in Fäulniß begriffenen Stoffen; stickstoffhältige hingegen unterliegen derselben in der Regel schon, sobald sie aufhören dem lebenden Organismus anzugehören, vorausgesetzt, daß die allgemeinen Bedingungen der Fäulniß vorhanden sind, nämlich eine Temperatur nicht unter 10° C., am besten von 20°—30° C., und Gegenwart von Wasser. Die Erscheinungen, welche diese Metamorphose begleiten, sind folgende: Der Körper ändert seine Farbe, wird fahl, bleich, und zuletzt gar gelbbraun, braun oder schwarz, sein Zusammenhang wird vermindert, er wird mürbe und zerfällt zuletzt in eine erdartige Masse; während des ganzen Vorganges entwickelt er meist übelriechende Gase. Ist er mit der atmosphärischen Luft in Berührung, so absorbirt er Sauerstoffgas, und entwickelt dafür Kohlensäuregas, Kohlenwasserstoffgas, und wenn er Stickstoff enthält, Ammoniak; falls er aber Schwefel oder Phosphor unter seinen Bestandtheilen hat, auch Schwefel- oder Phosphorwasserstoffgas. Zuletzt bleibt eine Masse zurück, die stickstofffrei und kohlenstoffreicher ist, als der Körper vor der Fäulniß; sie heißt Humus (Ulmin) oder Moder. Bei gehemmtem oder ganz abgesperrtem Luftzutritte muß der in dem betreffenden Körper enthaltene Sauerstoff den sonst aus der Atmosphäre hergenommenen ersetzen; im geschlossenen Raume, wie z. B. unter der Erde, können die frei gewordenen Verwesungsproducte nicht entweichen, sondern werden zu Erd-

harz, Steinöhl u. dgl. condensirt; aber auch hier ist das Product der Metamorphose ein kohlenstoffreicherer Körper, als jener, der die Verwesung erlitten hat.

Wenn man die chemische Zusammensetzung des der Fäulniß unterworfenen Körpers mit jener des letzten Productes der Fäulniß vergleicht, so kann man daraus auf den Hergang während der Metamorphose schließen. Z. B. die chemische Zusammensetzung der trockenen Holzfaser wird durch $C_{36} H_{48} O_{24}$ ausgedrückt, jene des Humus oder Ulmins als des Rückstandes ihrer Fäulniß unter Luftzutritt durch $C_{30} H_{24} O_{12}$. Die Erfahrung lehrt aber, daß bei der Fäulniß der Holzfaser in einer Sauerstoffatmosphäre ein Theil Sauerstoff ohne Aenderung des Volums durch Kohlensäure ersetzt wird. Denkt man sich demnach von der Holzfaser H_{24} hinweggenommen und mit O_{12} der atmosphärischen Luft zu Wasser verbunden, so müssen sich zugleich C_6 und O_{12} zu Kohlensäure verbunden haben; läßt man nun $H_{24} O_{12}$ und $C_6 O_{12}$ d. i. Wasser und Kohlensäure von $C_{36} H_{48} O_{24} + O_{12}$ hinweg, so bleibt $C_{30} H_{24} O_{12}$, die Formel für das Ulmin. Demnach besteht die Fäulniß der Holzfaser an der Luft in der Abscheidung eines Theiles Wasserstoff unter Bildung von Wasser, und eines Theiles Kohlenstoff und Sauerstoff in der Form von Kohlensäure. Die Producte dieser Metamorphose sind demnach Wasser, Kohlensäure und Humus oder Moder. Die im Schooße der Erde vergrabenen mächtigen Lager von Braun- und Steinkohlen sind höchst wahrscheinlich Producte der ohne Luftzutritt vor sich gegangenen Fäulniß der Holzfaser, und es läßt sich durch Vergleichung der Zusammensetzung letzterer mit jener der genannten Kohlen auf ihren Bildungsproceß schließen.

110. Die größere oder geringere Leichtigkeit, mit welcher ein organischer Körper Metamorphosen erleidet, hängt von seiner chemischen Zusammensetzung ab. Ein Stoff, der aus Atomen besteht, die selbst nur zwei Elemente enthalten, wie z. B. Kohlenwasserstoff, kann natürlich ohne Ausscheidung eines Elements nur eine Art Metamorphose erleiden; ein solcher, dessen Atome aus mehreren Elementen bestehen, ist schon mehrerer Metamorphosen fähig. Diese folgen aber in einer fest bestimmten Ordnung auf einander, und man kann wohl in der Regel bei jeder Metamorphose stehen bleiben, und den Eintritt der folgenden hindern, nicht aber die Ordnung ihrer Aufeinanderfolge umkehren. So z. B. muß sich Stärke, die zur Essigerzeugung verwendet werden will, erst in Gummi, dieses in Zucker, dieser in Alkohol verwandeln, und erst wenn der Alkohol in Aldehyd übergegangen ist, kann die Essigsäure gebildet werden. Die Mittel, durch welche man dem Fortschreiten von einen Zustande zu einem folgenden in der Reihe der Metamorphosen Einhalt thun kann, bestehen darin, daß man den Stoff, den man in bleibendem Zustande erhalten will, mit geeigneten Körpern in Berührung bringt (s. 106 Anmerkung), hauptsächlich aber in der Entfernung der Umstände, an welche als wesentliche Bedingungen das Eintreten der Metamorphose, die man verhüten will, gebunden ist.

Da die Wichtigkeit der in das practische Leben tief eingreifenden Chemie täglich mehr hervortritt, so werden hier noch die vorzüglichsten

Quellen genannt, aus welchen der Anfänger stufenweise weitere Belehrung schöpfen kann. Sie sind: Wöhler, Grundriß der Chemie, 2 Theile. Berlin 1840. Specz, Grundriß der technischen Chemie. Wien 1837. Koehler, die Chemie in technischer Beziehung. Berlin 1840. Runge, Einleitung in die technische Chemie. Berlin 1836. Desselben technische Chemie der nützlichsten Metalle. Berlin 1838—1839. C. G. Gmelin, Einleitung in die Chemie. Tübingen 1835—1837. Mitscherlich, Lehrbuch der Chemie, vierte Auflage. Berlin 1841. Geiger's Handbuch der Pharmacie. Erster Band, fünfte Aufl. bearbeitet von J. Liebig. Heidelberg 1837. Graham's Lehrbuch der Chemie, bearbeitet von Otto. Braunschweig 1840. Berzelius, Lehrbuch der Chemie. Uebersetzt von Wöhler, dritte Auflage. Dresden und Leipzig, 10 Bände (seit 1833 im Erscheinen und der Vollendung nahe).

Zweiter Abschnitt.

Gleichgewicht der Kräfte (Statik).

111. Bei der Erklärung des inneren Verlaufes der Erscheinungen der Körperwelt werden wir zuletzt zur Annahme von Kräften geführt, deren allgemeiner Charakter darin besteht, daß sie eine Bewegung wirklich hervorbringen, oder doch hervorzubringen suchen (7,23). Jede solche Kraft hat zwar eine eigene Wirkungsweise, doch gibt es allgemeine Gesetze, an welche alle Kräfte gebunden sind, und die man kennen muß, wenn man es in der Kenntniß der Erscheinungen zur Klarheit bringen will. Der Erfolg der Wirksamkeit einer Kraft, die nicht durch eine andere Kraft oder einen Widerstand, der dieselbe Wirkung zur Folge hat, wie eine Gegenkraft, aufgehoben wird, ist Bewegung; ist ihre Wirkung gehemmt, so herrscht Gleichgewicht. Die Lehre vom Gleichgewichte heißt Statik, die von der Bewegung Dynamik; beide zusammen machen die Mechanik aus.

Erstes Kapitel.

Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte.

112. Wenn mehrere gleichartige Kräfte auf einen Punct nach verschiedenen Richtungen wirken, so heben sich dieselben entweder gegenseitig auf, so daß aus ihrem Zusammenwirken keine Anregung zur Bewegung entspringt, mithin der Punct, wenn er völlig frei und ruhend gedacht wird, in seiner Ruhe verbleibt; oder es geht eine Anregung zur Bewegung hervor, in Folge welcher der Punct nach einer bestimmten Richtung fortzuschreiten strebt. Letzterer Effect könnte stets durch eine einzige, nach dieser Richtung mit angemessener Stärke wirkende Kraft hervorgebracht werden, die also den vorhandenen Kräften der Wirkung nach gleich gilt, und somit denselben substituirt werden darf. Diese Kraft wird die Resultirende genannt, und die Kräfte, welche sie der Wirkung nach ersetzt, heißen die Componenten. Die Resultirende mehrerer Kräfte finden, heißt diese Kräfte zusammensetzen; statt Einer Kraft mehrere ihr gleichgeltende setzen, heißt die Kraft zerlegen.

113. Aus der Art, wie wir bei dem Messen der Kräfte zu Werke gehen (25), erhellet von selbst, daß die Resultirende mehrerer Kräfte,

die nach derselben Richtung an einem Puncte angebracht sind, der Summe aller Kräfte gleich sey und nach eben dieser Richtung wirke. Treiben aber zwei Kräfte einen Punct nach gerade entgegengesetzten Richtungen, so ist die Resultirende dem Unterschiede der Kräfte gleich, und wirkt nach der Richtung der größeren Componente.

114. Wenn die Richtungen zweier Kräfte P und Q einen Winkel einschließen, so können sie einander nicht aufheben. Denn es sey A (Fig. 6) der Angriffspunct, Ax die Richtung der Kraft P, Ay die der Kraft Q, und man setze, sie heben einander auf. Verlängert man xA nach z, und denkt sich nach der Richtung Az eine der P entgegengesetzte Kraft R angebracht; so ist diese Kraft die Resultirende von allen drei Kräften, ihre Größen mögen wie immer beschaffen seyn, also auch, wenn $R = P$ ist. In letzterem Falle kann man aber, weil P und R einander aufheben, auch Q als die Resultirende von P, Q und R betrachten. Es müßte daher von den zwei Kräften Q und R die *eine* genau das leisten, was die andere leistet, welches absurd ist. Es heben daher die Kräfte P, Q einander nicht auf, sondern sie haben eine Resultirende. Die Richtung derselben fällt in die Ebene des Winkels xAy zwischen Ax und Ay, denn es ist kein Grund vorhanden, warum diese Richtung eher auf der einen als auf der anderen Seite außerhalb genannter Ebene liegen sollte.

115. Zwei gleiche Kräfte, deren Richtungen einen Winkel einschließen, haben eine Resultirende, deren Richtung den Winkel halbirt; denn es ist wieder kein Grund vorhanden, warum letztere Richtung näher an der Richtung der einen als der anderen Kraft liegen soll.

116. Ist Az (Fig. 7) die Richtung der Resultirenden R zweier unter dem Winkel xAy auf den Punct A wirkenden Kräfte P und Q, und vergrößert man die eine Kraft, z. B. P um das Stück P′, so macht die Richtung der Resultirenden S der Kräfte $P + P'$ und Q mit Ax einen kleineren Winkel als Az. Man kann nämlich, weil R den zwei Kräften P und Q äquivalent ist, statt der Kräfte $P + P'$ und Q, auch die beiden Kräfte P′ und R setzen, wovon erstere nach der Richtung Ax und letztere nach Az wirkt, d. h. S als die Resultirende von P′ und R betrachten. Die Richtung dieser Resultirenden muß nun *innerhalb* des Winkels xAz z. B nach Au fallen, wodurch die Behauptung erwiesen ist.

Denkt man sich anfänglich die Kraft P sehr klein im Vergleiche mit Q, so fällt die Richtung der Resultirenden sehr nahe an Ay; wächst nun P allmälig durch alle denkbaren Zwischenstufen, ohne Aenderung der Richtungen Ax und Ay und der Größe der Kraft Q, so wird der Winkel yAz, den die Richtung Az der Resultirenden mit der Richtung der Kraft Q macht, durch alle Zwischenstufen der Größe wachsen, und dem Winkel yAx so nahe gebracht werden können, als man will. Hieraus folgt, daß wenn eine Kraft Q gegeben ist, man nach jeder mit ihrer Richtung Ay einen gegebenen Winkel bildenden Richtung Ax *eine* Kraft P von solcher Größe angebracht denken kann, daß

die Resultirende der Kräfte P und Q irgend eine innerhalb des Winkels x A y beliebig gewählte Richtung erhält.

117. Es seyen (Fig. 8) P, Q zwei nach den Richtungen Ax, Ay auf den Punct A wirkende Kräfte, und ihre Resultirende R habe die Richtung Az. Setzt man die Kräfte P, Q noch einmal, so wird auch ihre Resultirende R noch einmal entstehen; wirken also die Kräfte 2 P, 2 Q nach den Richtungen A x, A y, so wird ihre Resultirende = 2 R seyn, und dieselbe Richtung A z haben, welche der Resultirenden R der einfachen Kräfte P, Q zukommt. Eben so überzeugt man sich, daß, wenn nach den vorigen Richtungen A x, A y die Kräfte 3 P, 3 Q angebracht werden, die Resultirende 3 R entstehen und gleichfalls nach der Richtung A z wirken wird. Führt man diese Betrachtungsweise weiter fort, so wird man zu dem Schlusse geleitet, daß wenn zwei Kräfte P, Q die Resultirende R geben, und man statt genannter Componenten die mit ihnen in einerlei Verhältniß stehenden, d. h. der Proportion $P' : P = Q' : Q$ Genüge leistenden Kräfte P', Q' nach denselben Richtungen wirken läßt, die Resultirende R' der letzteren Kräfte zur Resultirenden R der erstern in dem nämlichen Verhältnisse stehen, d. h. die Proportion $R' : R = P' : P = Q' : Q$ Statt finden, und ihre Richtung gegen die Richtungen der Componenten unter denselben Winkeln geneigt seyn wird, welche die Richtung der Kraft R mit den Richtungen ihrer Componenten macht. Da eine Aenderung der Größe einer der Componenten eine Aenderung der Richtung der Resultirenden zur Folge hat, so muß auch umgekehrt, wenn die Richtung der Resultirenden R' zweier auf den Punct A unter einem Winkel x A y wirkenden Kräfte P', Q' gegen die Componenten so liegt, wie die Richtung der Resultirenden R gegen die Richtungen ihrer Componenten P, Q, das Verhältniß $Q' : Q$ dem Verhältnisse $P' : P$ gleich kommen, und daher auch zwischen R' und R dasselbe Verhältniß bestehen muß, so daß die Proportion

$$P' : P = Q' : Q = R' : R \text{ gilt.}$$

118. Es seyen nun an einem Puncte A (Fig. 9) nach den einen rechten Winkel einschließenden Richtungen A x, A y, die Kräfte P, Q angebracht, so läßt sich ihre Resultirende nach Lambert (Beiträge zum Gebrauche der Mathematik. 2. Theil, Berlin 1770. S. 468) folgendermaßen finden. Man nehme an, diese unbekannte Resultirende habe die Richtung A z und ihre Größe sey R. Zieht man die gerade Linie u A v in der Ebene x A y senkrecht gegen A z, so sind die beiden Winkel u A x, y A z einander gleich, denn jeder derselben macht mit dem Winkel x A z zusammen einen rechten Winkel aus, und aus einem ähnlichen Grunde haben auch die Winkel x A z, v A y einerley Größe. Es liegt also die A x innerhalb des rechten Winkels u A z, gerade so wie A z innerhalb des rechten Winkels y A x. Denkt man sich nun nach den Richtungen A u, A z die Kräfte H, I, deren Größen durch die Proportion $H : Q = I : P = P : R$ bestimmt werden, angebracht, so muß eben weil R die Resultirende der Kräfte Q, P ist, auch P die Resultirende von H und I seyn (117), und es können dem-

nach letztere zwei Kräfte der Kraft P substituirt werden. Aus gleichem Grunde wird, wenn man nach Av, Az Kräfte K, L anbringt, die der Proportion $K : P = L : Q = Q : R$ Genüge leisten, Q die Resultirende dieser Kräfte seyn, und man kann dieselben daher an die Stelle der Kraft Q setzen. Es bringen somit die vier auf den Punct A nach den Richtungen Au, Az, Av, Az wirkenden Kräfte H, I, K, L dieselbe Wirkung hervor, wie die ursprünglich gegebenen Kräfte P, Q, und müssen also gleichfalls die nach Az wirkende Kraft R zur Resultirenden haben. Allein die Kräfte H, K wirken einander gerade entgegen, und da aus obigen Proportionen $H = \frac{QP}{R}$, $K = \frac{PQ}{R}$ folgt, so sind diese Kräfte auch einander gleich; sie heben daher einander auf und können so des Effectes unbeschadet weggelassen werden. Es ist demnach R die Resultirende der übrigen zwei Kräfte I, L, und da diese nach derselben Richtung Az wirken, so ist nothwendig

$$R = I + L.$$

Obige Proportionen geben $I = \frac{P^2}{R}$, $L = \frac{Q^2}{R}$ daher besteht die Gleichung

$$R = \frac{P^2}{R} + \frac{Q^2}{R}$$

aus welcher endlich $R^2 = P^2 + Q^2$ folgt. Man sieht hieraus, daß wenn zwei Kräfte P, Q unter einem rechten Winkel auf einen Punct wirken, das Quadrat der Größe der Resultirenden der Quadratsumme der Größen der Componenten gleich ist.

119. Man kann hiernach, wenn die Richtungen der zwei Componenten einen rechten Winkel machen, die Größe der Resultirenden durch eine einfache geometrische Construction finden. Man schneide von dem gemeinschaftlichen Angriffspuncte A (Fig. 10) der Kräfte P, Q auf ihren Richtungen Ax, Ay Stücke AB, AC ab, deren Längen sich verhalten wie die Größen der Kräfte, so nämlich: daß $AB : AC = P : Q$ ist. Man ziehe CD parallel zu AB und BD parallel zu AC, und verbinde A mit dem Durchschnittspuncte D, so verhält sich die Diagonale AD des Rechteckes ABDC zu dessen Seiten AB, AC, wie die Resultirende R zu den Componenten P, Q. Wegen des rechten Winkels ABD ist nämlich $AD^2 = AB^2 + BD^2$ oder wegen $BD = AC$, $AD^2 = AB^2 + AC^2$. Nach dem so eben bewiesenen ist $R^2 = P^2 + Q^2$. Da nun die obige Proportion $AB^2 : AC^2 = P^2 : Q^2$, mithin $AB^2 + AC^2 : AB^2 : AC^2 = P^2 + Q^2 : P^2 : Q^2$ gibt, so hat man auch $AD^2 : AB^2 : AC^2 = R^2 : P^2 : Q^2$ und somit

$$AD : AB : AC = R : P : Q$$

wie es behauptet wurde.

Da sich Größen jeder Art so gut durch Längen von Linien wie durch Zahlen ausdrücken und vorstellen lassen, so kann man durch die Linien AB, AC die Kräfte P, Q vorstellen. Die hier ausgeführte Construction zeigt nun, daß unter dieser Voraussetzung die Größe der Resultirenden R zweier unter einem rechten Winkel wirkenden Kräfte,

durch die Diagonale AD des mit den genannten Linien als Seiten verzeichneten Rechteckes vorgestellt werde. Es handelt sich jetzt zur vollkommenen Kenntniß der Resultirenden nur noch um ihre Richtung. Man kann beweisen, daß wenn die geraden AB, AC die Richtungen der Kräfte P, Q selbst sind, auch die Richtung der Resultirenden durch die Diagonale AD angezeigt werde, wie aus Nachstehendem zu ersehen ist.

120. Da die Richtung der Resultirenden zweier Kräfte sich nicht ändert, wenn man statt dieser Kräfte zwei andere setzt, die in demselben Verhältnisse stehen, so hängt diese Richtung nicht von der absoluten Größe der Kräfte, sondern lediglich von ihrem Quotienten ab. Ein gleiches gilt offenbar auch von der Richtung der Diagonale eines Rechteckes; ihre Stellung gegen die Seiten bleibt ungeändert, sobald diese einerlei Verhältniß zu einander beibehalten. Es muß daher, wenn zwei Kräfte der Größe und Richtung nach durch die Seiten eines Rechteckes vorgestellt werden, die Richtung der vom Angriffspuncte ausgehenden Diagonale zu jener der Resultirenden der Kräfte, in einer gewissen, und wie leicht einzusehen ist, von diesem Verhältnisse ganz unabhängigen Beziehung stehen, da die eine Richtung durch das Verhältniß der Kräfte, und wieder dieses Verhältniß durch die andere Richtung gegeben ist. Um diese Beziehung zu erforschen, seyen (Fig. 11) Ax, Az, Au drei Richtungen, wovon die erste mit der zweiten den Winkel α und die zweite mit der dritten den Winkel β bildet. Diese Richtungen seyen an die einzige Bedingung gebunden, daß die Winkelsumme $\alpha + \beta$, d. i. der Winkel xAu weniger betrage als ein Rechter, sonst aber ganz der Willkür überlassen. Wenn man nun auf A nach der Richtung Ax die Kraft P wirken läßt, kann man stets nach der darauf senkrechten Ay eine solche Kraft Q gesetzt denken, daß die Resultirende, die sie mit P erzeugt, die Richtung Az hat, und wenn wir diese Resultirende R nennen, läßt sich gleichfalls nach der auf Az senkrechten Richtung Av eine Kraft S so annehmen, daß die Resultirende R' von R und S nach der Richtung Au wirkt. Da die Kräfte P und Q der Kraft R äquivalent sind, so ist die Resultirende der Kräfte R und S nämlich R' zugleich die Resultirende der drei Kräfte P, Q und S. Statt S aber kann man zwei Kräfte P' und Q' setzen, deren erstere der Richtung Ax gerade entgegen nach Ax', die zweite aber nach Ay wirkt, wenn nur, da hier $yAv = xAz$ und $x'Av = yAz$ ist, die Proportion $P' : Q = Q' : P = S : R$ Statt findet (117). Es ist also R' auch die Resultirende der vier Kräfte P, Q, P', Q', oder weil P' und P gerade entgegengesetzt, und Q', Q übereinstimmend wirken, die Resultirende der zwei Kräfte $P - P'$, $Q + Q'$. Wenn daher die Richtung der Resultirenden zweier unter einem rechten Winkel wirkenden Kräfte mit der Richtung einer Componente in einem Falle den Winkel α, in einem anderen Falle den Winkel β bildet, so sind wir jetzt im Stande, die Kräfte, auf deren Verhältniß es eigentlich nur ankommt, so abzuändern, daß die Richtung der Resultirenden mit der Richtung einer Componente den Winkel $\alpha + \beta$ macht.

Dieß vorausgesetzt, stelle (Fig. 12) die gerade Linie AB die Kraft P, und die auf AB senkrechte AC die Kraft Q vor, so wird die Größe der Resultirenden R durch die Diagonale AD des Rechteckes ABDC vorgestellt. Zieht man AE senkrecht auf AD und nimmt man die Länge AE so, daß selbe der Größe der Kraft S entspricht, so gibt die Diagonale AF des Rechteckes ADFE die Größe der Resultirenden R' an. Nennen wir die Winkel BAD, DAF der Kürze wegen a und b, so ist $BAF = a + b$. Um die unter einem rechten Winkel wirkenden Kräfte zu finden, bezüglich welcher bei der Construction der Größe der Resultirenden dieser letztere Winkel der Diagonale des Rechteckes mit einer Seite zum Vorschein kommt, hat man nur vom Puncte F auf die AB und auf die verlängerte AC die Senkrechten FG und FH zu fällen; die verlangten Kräfte werden durch AG und AH als Seiten des mit der Diagonale AF versehenen Rechteckes AGFH angegeben. Setzen wir $BG = P''$, $CH = Q''$, so werden diese Kräfte wegen $AG = AB - BG$ und $AH = AC + CH$ durch $P - P''$ und $Q + Q''$ ausgedrückt. Da die Winkel FDI, ADB gleich sind, so sind die bei B und I rechtwinkeligen Dreiecke FDI, ADB ähnlich, mithin findet die Proportion

$$DI : DB = IF : AB = DF : AD$$

Statt. Aber es ist

$$DI = BG = P'', \ DB = AC = Q, \ IF = CH = Q'', \ DF = AE = S$$

folglich ist diese Proportion mit folgender:

$$P'' : Q = Q'' : P = S : R$$

einerlei. Vergleicht man diese mit der oben aufgestellten, so zeigt sich

$$P'' = P', \quad Q'' = Q'.$$

Es sind demnach die Kräfte, welchen die Winkelsumme $a + b$ gehört, keine anderen als jene, welchen die Winkelsumme $\alpha + \beta$ entspricht. Wenn daher die Richtung der Resultirenden zweier unter einem rechten Winkel auf einen Punct wirkenden Kräfte mit der Richtung einer Componente in einem Falle den Winkel α, in einem zweiten den Winkel β, in einem dritten den Winkel $\alpha + \beta$ bildet, und es zeigt sich, daß in den zwei ersten Fällen die Diagonale des Rechteckes, dessen Seiten den Componenten proportional sind, mit derselben Componente in dem ersten Falle den Winkel a, und in dem zweiten den Winkel b macht, so ist dieser Winkel in dem dritten Falle nothwendig $= a + b$.

Setzen wir jetzt $\beta = \alpha$, wobei auch $b = a$ werden muß, so folgt hieraus, daß dem Winkel $\alpha + \alpha = 2\alpha$ auf der einen Seite, der Winkel $a + a = 2a$ auf der andern zugehört. Nehmen wir ferner $\beta = 2\alpha$ und auf das so eben erhaltene Resultat fußend $b = 2a$, so folgt weiter, daß dem Winkel $\alpha + 2\alpha = 3\alpha$ der Winkel $a + 2a = 3a$ entspricht. Diese Schlußweise läßt sich beliebig fortsetzen und dabei der anfängliche Winkel α so klein nehmen als man will. Man kommt damit zur *nothwendigen* Folge, daß die Winkel, welche die Richtung der Resultirenden mit der Richtung einer Componente, und die Diagonale des Rechteckes der Kräfte mit derselben Componente, in verschie-

denen Fällen bildet, mit einander in einerlei Verhältniß stehen. Finden also für ersteren Winkel in zwei Fällen die Werthe α und β, und für letzteren die Werthe a und b Statt, so ist allgemein $a : b = \alpha : \beta$ oder was dasselbe heißt $\frac{a}{\alpha} = \frac{b}{\beta}$. Da nun diesem gemäß der Quotient des Winkels der Resultirenden mit einer Componente durch den correspondirenden Winkel der Diagonale des Kräftenrechteckes getheilt in allen Fällen denselben Werth hat, so braucht man diesen Werth nur in einem einzigen Falle zu kennen, um ihn allgemein anzugeben. Aber in dem speciellen Falle, wenn die beiden Componenten einander gleich sind, wird der Winkel ihrer Richtungen von der Richtung der Resultirenden halbirt (115), und dasselbe geschieht auch durch die Diagonale des Rechteckes der Kräfte, weil dieses hier als ein Quadrat erscheint; in diesem Falle ist also sowohl der Winkel α als auch der Winkel a die Hälfte eines Rechten, und daher sind beide Winkel gleich: man kann folglich auch im Allgemeinen die Gleichheit der Winkel α und a aussprechen, d. h. die Richtung der Resultirenden zweier unter einem rechten Winkel wirkenden Kräfte und die Richtung der Diagonale des Rechteckes der Kräfte stimmen überein.

121. Nach diesen Vorbereitungen läßt sich allgemein beweisen, daß die Diagonale des Parallelogrammes, dessen Seiten der Richtung und Größe nach zweien unter einem beliebigen Winkel auf einen Punct wirkenden Kräften entsprechen, die Richtung und Größe der Resultirenden dieser Kräfte vorstellt. Es sey A (Fig. 13) der Angriffspunct zweier Kräfte, deren Richtungen und Größen durch AB und AC angezeigt werden. Man construire das Parallelogramm ABDC, ziehe die Diagonale AD, dann die Gerade EAF auf selbe senkrecht, und fälle aus C und B auf EF und AD die Senkrechten CE, BF, CG, BH. Offenbar kann man dem vorhergehenden Lehrsatze gemäß, statt AC die Kräfte AE und AG und statt AB die Kräfte AF und AH setzen. Es ist also die Resultirende der vier Kräfte AE, AG, AF, AH zugleich die Resultirende der Kräfte AB, AC. Aber die Congruenz der Dreiecke CDG, BAH lehrt, daß CG, HB und folglich auch AE, AF gleich sind. Die durch diese Linien vorgestellten Kräfte heben also einander auf, denn sie wirken einander mit gleicher Stärke entgegen. Es ist demnach die zu suchende Resultirende lediglich das Erzeugniß der zwei Kräfte AG und AH, mithin weil diese einerlei Richtung haben, nach derselben Linie gerichtet und der Summe AG + AH gleich. Aber aus der Congruenz der Dreiecke CDG, BAH folgt auch GD = AH, daher ist

$AG + AH = AG + GD = AD$, d. h. die Diagonale AD des Kräftenparallelogramms ABDC zeigt die Größe und Richtung der in Frage stehenden Resultirenden an.

122. Mit Hülfe des so eben bewiesenen Lehrsatzes kann man nicht bloß von zwei, sondern auch von mehreren Kräften, die einen gemeinschaftlichen Angriffspunct haben und nach verschiedenen Richtungen wirken, die Resultirende finden. Wären z. B. P, P′, P″ die

Kräfte (Fig. 14), A ihr Angriffspunct, AB, AC, AD ihre Richtungen und Größen; so ziehe man BF der AC parallel und gleich, eben so FG der AD parallel und gleich, und es ist AG die Resultirende aller gegebenen Kräfte.

123. Durch ein umgekehrtes Verfahren kann man jede Kraft in eine beliebige Anzahl von Kräften zerlegen, die ihr zusammen an Wirkung gleich kommen. Um nämlich eine Kraft zunächst in zwei Kräfte zu zerlegen, darf man sie nur als Diagonale eines Parallelogramms betrachten. Die in dem Angriffspuncte derselben zusammenstoßenden Seiten des Parallelogramms geben die Richtungen und Größen der gesuchten Kräfte an. Hiebei sind die Richtungen oder die Größen beider Kräfte, oder die Richtung der einen und die Größe der andern, innerhalb gewisser, durch die Möglichkeit das Parallelogramm zu verzeichnen bedingter Grenzen willkürlich, und können daher nach Belieben gewählt werden. Indem man mit jeder der gefundenen Kräfte wieder so verfährt, zerlegt man erstere in jede beliebige Anzahl von Kräften.

124. Der Angriffspunct A einer Kraft P, deren Richtung Ax ist (Fig. 15), kann ohne Aenderung der Wirkung in jeden anderen Punct B versetzt werden, welcher in der wie immer verlängerten Geraden Ax liegt, und mit A unveränderlich verbunden ist. Denn denkt man sich in B zwei gleiche und entgegengesetzte Kräfte P′ und P″, wovon erstere die Richtung Bx, letztere die Richtung BA hat, so bleibt die Wirkung von P dieselbe, wie die aller drei Kräfte. Ist überdieß noch $P = P' = P''$, so heben sich P und P″ auf, es bleibt P′ übrig, und die Wirkung ist wie im Anfange. — Wenn man den Angriffspunct irgend wohin, z. B. nach C, außer der Richtung Ax versetzte, so würde ein ganz anderer Erfolg Statt finden; denn brächte P in C dieselbe Wirkung hervor, wie in B oder A, so müßte Gleichgewicht herrschen, wenn die Kraft P in A oder in B nach einer, und in C nach der entgegengesetzten Richtung wirkte. In diesem Falle würde aber eine drehende Bewegung erfolgen. Man darf daher den Angriffspunct einer Kraft nie aus ihrer Richtung versetzen, und kann von einem Punkte, von dem man weiß, daß man den Angriffspunct einer Kraft dahin versetzen darf, mit Grund behaupten, er liege in der Richtung der Kraft.

125. Mit Hülfe dieser Bemerkung und des vorhergehenden Lehrsatzes kann man auch die Zusammensetzung von Kräften bewerkstelligen, die in derselben Ebene wirken und verschiedene Angriffspuncte haben, wenn diese nur unveränderlich mit einander verbunden sind. Es seyen A und B (Fig. 16) die Angriffspuncte der nach den divergirenden Richtungen Ax, By wirkenden Kräfte P und Q. Man verlängere die Linien Ax, By bis sie sich in C schneiden, versetze den Angriffspunct jeder der Kräfte dahin, nehme die Stücke CD, CE so an, daß $CD : CE = P : Q$ erscheint, construire das Parallelogramm CDFE; so ist CF der Resultirenden von P und Q proportional. Zieht man von einem beliebigen Puncte G der Richtung der CF, die auf Cx und Cy Senkrechten GH und GK, und verbindet man H mit K, so läßt sich um das Viereck CHGK wegen der

rechten Winkel bei H und K ein Kreis beschreiben, wovon HG eine Sehne wird, deßhalb sind die Winkel HCG und HKG gleich; ferner sind die Winkel CDF, HGK gleich, da die Schenkel des einen auf jenen des andern senkrecht stehen, und beide Winkel von einerlei Art sind; es sind daher die Dreiecke CDF, HGK ähnlich. Hieraus folgt die Proportion CD : DF = GK : GH oder wegen DF = CE,

CD : CE = GK : GH, mithin P : Q = GK : GH.

Man kann daher sagen: Die Kräfte P und Q verhalten sich verkehrt wie die Senkrechten GH, GK, welche von irgend einem Puncte G der Resultirenden auf die Richtungen dieser Kräfte gezogen werden.

Nennt man die durch die Diagonale CF vorgestellte Resultirende R, so gibt die Aehnlichkeit der erwähnten Dreiecke

P : Q : R = GK : GH : HK.

Es ist also zugleich diese Resultirende der Verbindungslinie HK der Endpuncte dieser Senkrechten proportional.

In dem Dreiecke CDF ist CD : DF : CF = *sin.* CFD : *sin.* DCF : *sin.* CDF, daher wegen CFD = BCG und CDF = 180° — ACB,

P : Q : R = *sin.* BCG : *sin.* ACG : *sin.* ACB.

Es ist also jede der Kräfte P, Q, R dem Sinus des Winkels, den die Richtungen der zwei anderen bilden, proportionirt.

126. Sind P und Q zwei nach parallelen Richtungen und nach derselben Gegend hin wirkende Kräfte, A und B (Fig. 17) ihre unveränderlich verbundenen Angriffspuncte, AC und BD ihre Richtungen und Größen; so kann man ohne Aenderung des Effectes in A und B zwei andere gleiche und entgegengesetzte Kräfte, deren Richtungen Verlängerungen der Verbindungslinie AB ihrer Angriffspuncte sind, anbringen. Sind AE und BF diese Kräfte, so setze man AE mit AC, BF mit BD zusammen, und stelle, indem man die Parallelogramme AEGC und BFHD construirt, ihre Resultirenden AG und BH dar. Verlängert man die Geraden AG, BH bis sie sich schneiden; so kann ihr Durchschnittspunct K, in so fern er mit A und B unveränderlich verbunden gedacht wird, den gemeinschaftlichen Angriffspunct der Kräfte AC, AE und BD, BF vorstellen. Nimmt man nämlich KL = AG, KM = BH, und zieht Kx parallel mit AC, yKz parallel mit AB; so kann man KL in die Kräfte KO = AE und KN = AC und eben so KM in KS = BF und KR = BD zerlegen. Da aber KO und KS sich als gleiche und entgegengesetzte Kräfte aufheben, so bleibt als Resultirende KN + KR = P + Q. Sie ist daher gleich der Summe der gegebenen Kräfte, und wirkt mit ihnen parallel. Zur Bestimmung ihrer Richtung hat man wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke AEG, ATK, dann der Dreiecke BFH, BTK

AE : EG = AT : TK,
BF : FH = BT : TK, mithin
EG : FH = BT : AT, d. i. P : Q = BT : AT.

Die Richtung der Resultirenden theilt daher die Verbindungslinie AB

der Angriffspuncte in zwei Theile, die mit den Kräften im verkehrten Verhältnisse stehen.

Da die Bestimmung des Punctes T unabhängig von dem Winkel erfolgte, den P und Q mit AB machen; so muß dieser Punct derselbe bleiben, wenn sich die Richtungen von P und Q ohne Aenderung des Parallelismus um ihre Angriffspuncte drehen. Deßhalb heißt der Punct T der **Mittelpunct** der parallelen Kräfte.

127. Es ist für sich klar, daß man durch dieses Verfahren von mehreren parallelen und gleich gerichteten Kräften die Resultirende finden könne. Man darf hier nur zuerst für zwei dieser Kräfte die Resultirende suchen; dann die Resultirende für die so eben gefundene und die dritte gegebene Kraft; deren Resultirende man eben so mit der vierten Kraft, wenn eine solche vorhanden ist, combinirt u. s. w. Die letzte Resultirende wird offenbar die Resultirende aller gegebenen Kräfte und zwar der Summe dieser Kräfte gleich seyn. Betrachtet man den Mittelpunct je zweier combinirten Kräfte als den Angriffspunct ihrer Resultirenden, so ist der letzte so erhaltene Mittelpunct auch der **Mittelpunct des ganzen Systems** der gegebenen Kräfte, d. h. er besitzt die Eigenschaft, daß die Richtung der Resultirenden aller gegebenen Kräfte stets durch ihn geht, wenn man auch den Richtungen dieser Kräfte, ohne Aenderung der Angriffspuncte, andere parallele Lagen ertheilt. Nicht minder klar ist es, daß man auch umgekehrt jede gegebene Kraft in jede beliebige Anzahl paralleler, nach derselben Gegend gerichteten Kräfte auflösen könne, deren Summe der gegebenen Kraft gleich ist.

128. Wirken die Kräfte P und Q einander parallel, aber nach entgegengesetzten Richtungen, so ist ihre **Resultirende gleich ihrem Unterschiede**, wirkt mit der größeren Kraft nach einerlei Gegend, und ihre Richtung schneidet die Verbindungslinie der Angriffspuncte der Kräfte nach demselben Verhältniß, wie im vorhergehenden Falle. Man kann diesen Satz durch die dort angewandte Construction beweisen, oder auch ihn, wie folgt, auf den ersteren zurückführen. Es seyen (Fig. 18) Ax und By die Richtungen der Kräfte P und Q, A und B ihre Angriffspuncte, und es werde $P < Q$ vorausgesetzt. Man kann sich Q in zwei Kräfte zerlegt denken, wovon eine P', deren Richtung Ax' sey, der P gleich und entgegengesetzt ist, während die andere, die R heißen mag, und deren Größe und Angriffspunct noch unbekannt ist, in C angebracht sey und längs Cz mit Q parallel wirke. Da sich P und P' aufheben, so bleibt nur die Kraft R übrig; diese ist daher die Resultirende der Kräfte P, Q, und man hat $Q = P + R$ oder $R = Q - P$. Da $P' : R = BC : AB$ (126), und daher $P : P + R = BC : BC + AB$ mithin $P : Q = BC : AC$ ist; so gilt auch hier das obige Gesetz der Lage des Angriffspunctes der Resultirenden. Auch da ist C unabhängig von der Neigung der Kräfte gegen AC, mithin wieder ein **Mittelpunct** der Kräfte.

Wenn $P = Q$ ist, kann die Resultirende weder die Richtung der einen, noch die Richtung der anderen Kraft haben, weil zu beiden kein Grund

vorhanden ist. In diesem Falle kann es daher keine Resultirende geben. Dieses folgt auch aus Obigem; denn es wird, wenn $P = Q$ ist, $R = Q - P = o$, mithin wegen $P : R = BC : AB$ auch

$$P : o = BC : AB \text{ d. i. } BC = \frac{P . AB}{o} = \infty$$

Um dieses Resultat zu verstehen, muß man erwägen, daß der Punct C um so weiter hinausrückt, je weniger die Kräfte P, Q von einander verschieden sind, d. h. je kleiner R wird. Für $P = Q$ rückt er also in das Unendliche hinaus.

129. Das Product aus einer Kraft in die Senkrechte, die aus einem gegebenen Puncte auf die Richtung dieser Kraft gezogen worden, heißt ihr Moment in Beziehung auf diesen Punct. Liegt der Punkt, worauf das Moment bezogen wird, in der Richtung der Resultirenden zweier Kräfte, so sind ihre Momente einander gleich. Denn für Kräfte, deren Richtungen nicht parallel sind, wie in Fig. 16, sie mögen nun einen gemeinschaftlichen Angriffspunct haben oder nicht, ist in Bezug auf jeden Punct G der Richtung der Resultirenden immer

$$P . GH = Q . GK \quad (125).$$

Sind die Kräfte parallel, wie in 126 angenommen wurde, so gilt für sie dasselbe Gesetz; denn es seyen P und Q zwei solche Kräfte, A und B (Fig. 19) ihre Angriffspuncte, Ax und By ihre Richtungen, und die Richtung der Resultirenden, welche AB in C schneidet, sey Cz. Ist nun H ein Punct, worauf man die Momente der Kräfte bezieht, so ziehe man HI, HK auf Ax und By senkrecht, ferner LM durch H mit AB parallel, und man hat:

$$P : Q = BC : AC = HM : HL,$$

ferner wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke LHI, KHM,

$$HM : HL = HK : HI, \text{ mithin}$$

$$P : Q = HK : HI \quad \text{oder} \quad P . HI = Q . HK.$$

130. Man kann diesen Satz auch umkehren und zeigen, daß ein innerhalb des Winkels der Richtungen zweier Kräfte befindlicher Punct, für den die Momente der Kräfte gleich sind, in der Richtung ihrer Resultirenden liegen muß. Es seyen nämlich P und Q zwei Kräfte (Fig. 20), A und B ihre Angriffspuncte, Ax und By ihre nicht parallelen Richtungen, und es werde vorausgesetzt, daß für den Punct E, wovon auf Ax und By die Senkrechten EF und EG gezogen sind

$$P . EF = Q . EG$$

sey. Soll die Resultirende der zwei Kräfte P und Q nicht durch E gehen, so gehe sie durch H. Man verlängere xA und yB bis sie sich in K scheiden, ziehe KH, welche die Richtung der Resultirenden der Kräfte P, Q seyn wird, ferner HL senkrecht auf Kx, und man hat $P . HL = Q . HG$ (129). Aus dieser Gleichung und aus der Voraussetzung folgt $EF : HL = EG : HG$; es müßten daher die Dreiecke EFG, HLG deren bei E und H liegende Winkel gleich sind, einander ähnlich seyn, und deßhalb wären auch die Winkel FGE, LGE gleich, welches absurd ist.

Sind aber die Richtungen der Kräfte P, Q einander parallel, ist ferner H (Fig. 19) ein Punct von der Eigenschaft, daß die Glei-

chung $P . HI = Q . HK$ besteht, so geht die Richtung der Resultirenden genannter Kräfte durch H; denn ginge sie durch den Punct H′ der IK, so wäre auch $P . H'I = Q . H'K$, mithin $HI : H'I = HK : H'K$, was ungereimt ist, weil $HI < H'I$ und zugleich $HK > H'K$.

131. Mit Hülfe der Zusammensetzung der Kräfte läßt sich leicht erkennen, ob mehrere gegebene Kräfte, die auf einen Punct oder auf ein System mit einander verbundener Puncte wirken, einander das Gleichgewicht halten. Ist bloß ein einziger Angriffspunct vorhanden und dieser völlig frei, d. i. nach allen denkbaren Richtungen beweglich, so können die Kräfte nicht im Gleichgewichte seyn, wofern nicht die Wirkung jeder einzelnen Kraft durch die Gesammtwirkung aller übrigen getilgt wird. Sondert man daher von den gegebenen Kräften eine ab, und sucht die Resultirende der übrigen, so muß, damit Gleichgewicht bestehe, diese Resultirende der ersteren Kraft gleich seyn und eine gerade entgegengesetzte Richtung haben. Ist aber der gemeinschaftliche Angriffspunct der Kräfte nicht völlig frei, sondern kann er bloß auf einer bestimmten Linie oder Fläche hin und her gleiten, so ist zum Bestehen des Gleichgewichtes hinreichend, daß die Resultirende sämmtlicher Kräfte gegen die Linie oder Fläche normal gerichtet sey, und falls der Punct bloß auf die Linie oder Fläche gelegt wäre, d. h. diese ihm nur einseitig Widerstand leistet, daß die Resultirende den Punct gegen die Linie oder Fläche drücke. Unter dieser Bedingung wird die Action aller Kräfte durch den Widerstand der dem Angriffspunct vorgeschriebenen Bahn aufgehoben. Ist ein System unveränderlich verbundener Puncte, worauf nach verschiedenen Richtungen Kräfte wirken, zu betrachten, so ist, wenn der Bewegung der Puncte, ihren Zusammenhang ausgenommen, kein Hinderniß entgegen steht, zum Gleichgewichte ebenfalls erforderlich, daß jede einzelne Kraft durch die Gesammtwirkung der übrigen unwirksam werde. Es müssen sich also die übrigen Kräfte auf eine einzige Kraft zusammensetzen lassen (was im Allgemeinen nicht angeht, z. B. zwei Kräfte, deren Richtungen nicht in derselben Ebene liegen, geben keine Resultirende), und diese Kraft muß der ersteren gleich und entgegen gesetzt seyn. Ist ein Punct dieses Systems unbeweglich, so muß durch diesen die Resultirende aller Kräfte gehen; stützt es sich auf eine ebene oder gekrümmte Fläche, längs welcher es hingleiten kann, so muß die Richtung der Resultirenden, falls sich das System und die Fläche nur an einem Punkte berühren, durch diesen Punct und zwar normal gegen die Fläche gehen; berühren sich das System und die Fläche in zwei Puncten, so muß die Richtung der Resultirenden in die gerade Linie fallen, welche diese zwei Puncte verbindet; tritt endlich die Berührung in mehreren, nicht in einer geraden Linie liegenden Punkten ein, so darf die erwähnte Richtung die Fläche nicht außerhalb des durch die Berührungspuncte bezeichneten Polygons treffen.

Die Lehre von der Zusammensetzung der Kräfte hat ihre Ausbildung erst im Verlaufe des vorigen Jahrhunderts erhalten. Newton hat in seinem unsterblichen Werke Philosophiae naturalis principia mathe-

matica, das 1686 erschien, die Vortheile angedeutet, welche die Statik daraus ziehen kann, und Varignon hat gleichzeitig die Bearbeitung dieses Gegenstandes vorgenommen. Der Satz, daß drei Kräfte, welche auf einen Punct den Seiten eines Dreieckes parallel wirken, und sich wie diese Seiten verhalten, im Gleichgewichte stehen (vergl. 125. Anm.), hat schon Stevin, ein Holländer, um das Jahr 1600 ausgesprochen. Die Theorie der Momente der Kräfte rührt von Varignon her.

Zweites Kapitel.

Theorie der Schwere und Gleichgewicht fester schwerer Körper.

132. Unter allen Naturkräften spielt keine eine größere Rolle, als die Schwerkraft; deßhalb sollen auch ihre Gesetze zuerst aus den allgemeinen Gesetzen der Kräfte überhaupt abgeleitet werden. Bekanntlich gehört diese Kraft in die Classe der anziehenden Kräfte, und ist jedem materiellen Theilchen eigen (48). Aus den Gesetzen der Bewegung der Himelskörper hat Newton bewiesen, daß diese Kraft von der materiellen Verschiedenheit der Körper ganz unabhängig ist, und allein im geraden Verhältnisse mit der Masse sowohl des anziehenden wie auch des angezogenen Körpers, im verkehrten mit dem Quadrate der Entfernung beider zunimmt. Die Rechtfertigung dieser Wahrheit kann erst später gegeben werden; wir wollen dieselbe hier einstweilen als ein Princip adoptiren, und die daraus fließenden Folgerungen betrachten. Ist P die Kraft, welche die Masse M auf die Masse m in der Entfernung D ausübt, und eben so P' die Kraft, welche zwischen den Massen M' und m' in der Entfernung D' herrscht, so hat man dem so eben ausgesprochenen Satze gemäß: $P : P' = \frac{Mm}{D^2} : \frac{M'm'}{D'^2}$. Setzt man hier $M' = 1$, $m' = 1$, $D' = 1$ und $P' = p$, wobei also p die Kraft anzeigt, welche zwischen zwei Massen, deren jede $= 1$ ist, in der Entfernung 1 besteht, so hat man $P = p \cdot \frac{Mm}{D^2}$. In dieser Gleichung bedeuten jedoch M und m Massen von so geringer Ausdehnung, daß es gleichgültig ist, zwischen welchen ihrer Puncte man die Entfernung D mißt; sie können also an und für sich nur in materiellen Puncten oder Elementartheilchen (Atomen oder Molekeln) enthalten gedacht werden, wenn das Resultat der Rechnung nach diesem Ausdrucke ganz scharf seyn soll. Hat daher entweder die anziehende, oder die angezogene Masse, oder beide eine angebbare Ausdehnung, so muß man die Kraft, womit jeder Punct jeden andern afficirt, mittelst dieser Formel ausdrücken und den Totaleffect aller dieser Kräfte bestimmen.

133. Es sey nun HK (Fig. 21) die Erde, A ein außerhalb derselben befindlicher Punct, dessen Masse $= m$ ist, und die Anziehung zu finden, welche die Erde gegen denselben ausübt. Theilen wir diese in Gedanken in unendlich kleine Theilchen μ, μ', μ'', ..., deren Mas-

sen durch die nämlichen Buchstaben bezeichnet werden sollen, so erfährt der Punct A von denselben nach den Richtungen $A\mu$, $A\mu'$, $A\mu''$,... die Anziehungen $p.\frac{\mu.m}{A\mu^2}$, $p.\frac{\mu'.m}{A\mu'^2}$, $p.\frac{\mu''.m}{A\mu''^2}$,... wobei p die obige Bedeutung hat. Die Resultirende aller dieser Kräfte gibt die Anziehung an, welche die gesammte Masse der Erde gegen den Punct A äußert. Ist die Linie ACz ringsum symmetrisch von der Masse der Erde umgeben, so fällt die Richtung dieser Totalkraft in genannte Linie. Dieser Fall findet Statt, wenn die Erde entweder eine durchaus gleichförmig dichte Kugel ist, oder wenn sie wenigstens in gleichen Abständen vom Centrum einerlei Dichte hat, d. h. aus concentrischen Schichten besteht, in deren jeder für sich betrachtet, einerlei Dichte herrscht. Man kann überdieß noch durch Rechnung zeigen, daß die Anziehung der Erde unter der Voraussetzung ihrer Kugelform und der genannten Anordnung ihrer Masse, welche Voraussetzungen von der Wahrheit nicht stark abweichen und in den meisten Fällen hinreichend genaue Resultate gewähren, so erfolgt, als wäre ihre ganze Masse in ihrem Mittelpunkte vereiniget. Es wird daher jeder materielle Punct A, dessen Masse = m ist, gegen das Centrum der Erde hingezogen mit einer Kraft, welche durch den Ausdruck $p.\frac{Mm}{D^2}$ bezeichnet wird, worin M die Masse der Erde, und D die Entfernung des Punctes A vom Erdmittelpunkte andeutet. Was mit dem Puncte A erfolgt, geschieht auch mit jedem andern nach Maßgabe seiner Masse und seiner Entfernung von dem Erdmittelpuncte. Betrachtet man also die Wirkung der Erde auf einen Körper, d. h. auf ein Aggregat von Puncten; so kann man sich vorstellen, als würde jeder derselben mit einer seiner Masse direct und dem Quadrate seines Abstandes vom Erdmittelpuncte verkehrt proportionalen Kraft nach diesem Mittelpuncte hingezogen. Die Richtungen, nach welchen diese Puncte gezogen werden, convergiren zwar nach dem Centrum der Erde hin, allein wegen der bedeutenden Größe des Erdhalbmessers und der geringen Ausdehnung der Körper auf der Erde kann man ohne Fehler annehmen, alle diese Kräfte wirken nach parallelen Richtungen, und kann jeden schweren Körper als ein System von Angriffspuncten parallel wirkender Kräfte betrachten. Diese Kräfte sind nur in so ferne für alle Puncte gleich groß, als diese eine gleiche Entfernung vom Centrum der Erde haben; doch dieses ist bei keinem Körper streng genommen der Fall. Für die oberen Puncte ist diese Entfernung stets größer als für die unteren, ja selbst für die neben einander in horizontaler Richtung liegenden ist sie nicht gleich groß; allein hier kommt uns wieder die geringe Ausdehnung der gewöhnlichen Körper gegen die Größe der Erde gut zu Statten, und erlaubt, alle Puncte eines Körpers von gewöhnlicher Ausdehnung als gleich weit vom Erdmittelpuncte entfernt anzunehmen, und sich demnach vorzustellen, jeder Punct eines Körpers werde von parallelen und gleichen Kräften gegen das Centrum der Erde hingezogen. Die Resultirende aller dieser Kräfte an einem Körper stellt dessen Ge-

wicht vor. Hieraus ist leicht zu entnehmen, daß alle gleich weit von dem Centrum der Erde entfernten Körper gleich schwer sind, und daß die weiter davon entfernten leichter sind, als die näheren. Befindet sich ein Körper innerhalb der Erde, so wirken einige Theile derselben einwärts, andere auswärts ziehend. Dadurch wird das vorhin aufgestellte Gesetz der Schwere geändert, und es wächst dieselbe nicht mehr im verkehrten quadratischen, sondern im directen einfachen Verhältnisse der Entfernung vom Mittelpuncte. Eigentlich sollte man bei einer genauen Erwägung der Wirkungen der Schwerkraft dieselben als das Resultat einer gegenseitigen Anziehung zwischen der Erde und den Körpern auf ihr ansehen, vermöge welcher die Erde eben so zu einem über ihr befindlichen Körper hin, als dieser zur Erde hinab gezogen wird; allein auch dieses erläßt uns die unbedeutende Größe der beweglichen Theile der Erde gegen ihre ganze Masse, und man kann, ohne einen Fehler befürchten zu dürfen, von der Wechselseitigkeit der Anziehung ganz absehen.

134. Aus der Lehre von der Zusammensetzung paralleler Kräfte (127) erhellet, daß sich in der Richtung ihrer Resultirenden stets ein Punct befindet, durch den dieselbe fortwährend hindurchgeht, wenn sich die Richtungen sämmtlicher Kräfte ohne Störung des Parallelismus um ihre Angriffspuncte drehen, welcher allen möglichen Richtungen der Resultirenden gemeinschaftliche Punct der Mittelpunct der parallelen Kräfte genannt wird. Offenbar ist es aber einerlei, ob man die Richtungen der Kräfte um die Angriffspuncte sich drehen läßt, oder ob diese Richtungen ungeändert bleiben und das System der Angriffspunete ohne Störung ihrer relativen Lage gedreht wird. Auch in diesem Falle wird sich der Mittelpunct als unveränderlicher Punct der Richtung der Resultirenden kund geben. Letztere Betrachtungsweise ist auf die Schwere anwendbar, in so fern der von ihr afficirte Körper ein fester ist, dessen Theile stets dieselbe relative Lage beibehalten. Man nennt den Mittelpunct der Schwerkräfte, die einen Körper beherrschen, dessen Schwerpunct. Obgleich die Möglichkeit der Zusammensetzung der Schwerkräfte, wie der auf verschiedene Puncte wirkenden Kräfte überhaupt, durch den zwischen ihren Angriffspuncten obwaltenden festen Zusammenhang bedingt wird, so läßt sich doch auch von dem Schwerpuncte eines Körpers oder eines Systems von Körpern sprechen, dessen Theile gar nicht in unveränderlicher Verbindung stehen. Man nimmt hier den Schwerpunct, dessen Position lediglich durch die Anordnung der Angriffspuncte und durch die auf sie wirkenden Schwerkräfte bestimmt wird, so wie er sich unter Voraussetzung ergeben würde, daß man es mit einem unveränderlichen Inbegriff materieller Puncte zu thun habe. So ist insbesondere die Sache zu nehmen, wenn es sich um den Schwerpunct eines biegsamen oder flüssigen Körpers bei irgend einer Anordnung seiner Theile handelt.

Da die Schwerkräfte, welche den Theilen eines Körpers entsprechen, den Massen dieser Theile proportionirt sind, so kann man noch weiter gehen und den Schwerpunct eines Systems materieller Puncte betrach-

ten, das in dem hier Statt findenden Sinne gar nicht schwer gedacht wird, z. B. den Schwerpunct des Systems gewisser Himmelskörper, oder bloß träger Massen u. dgl. Doch sagt man in diesem Falle lieber Mittelpunct der Massen. Man kann denselben unabhängig von jeder Betrachtung von Kräften dadurch definiren, daß man festsetzt der Mittelpunct zweier Massen, die man in Puncten concentrirt denkt, liege in der Verbindungslinie derselben, und theile diese Linie im verkehrten Verhältnisse der Massen; ferner daß der so eben erhaltene Mittelpunct mit der Summe der Massen begabt, als Stellvertreter der beiden Puncte betrachtet und eben so mit einem dritten Puncte combinirt werde u. s. w.

135. Da der Charakter des Schwerpunctes darin besteht, daß die Gesammtwirkung sämmtlicher Kräfte, welche die Erde gegen einen Körper ausübt, bei jeder Lage durch diesen Punct hindurch geht, so kann man sich vorstellen, daß das Gewicht des Körpers bloß in dem Schwerpuncte hafte, alle übrigen Puncte des Körpers aber schwerlos seyen. Dieser Kunstgriff erleichtert die Untersuchung des Gleichgewichts schwerer Körper ungemein. Man sieht hieraus sogleich, daß sobald nur der Schwerpunct eines festen Körpers gehindert wird, sich abwärts zu bewegen, auch der Körper selbst vor dem Fallen gesichert sey. Dieß findet Statt, wenn der Körper entweder an einem Puncte in der Verticallinie, die durch den Schwerpunct geht (man nennt sie die Directionslinie des Körpers), von unten unterstützt ist, oder an einem Faden hängt, dessen Richtung mit der Directionslinie übereinstimmt. Eben so ist der Körper im Gleichgewichte, wenn er an zwei Puncten gehalten wird, die mit dem Schwerpuncte in einerlei Verticalebene liegen, oder wenn der Körper in den Eckpuncten eines Dreieckes auf einer Unterlage liegt, und zugleich seine Directionslinie den Flächenraum dieses Dreieckes trifft u. dgl. In dem besonderen Falle, wenn der Schwerpunct selbst unmittelbar gehalten wird, der Körper aber um denselben frei gedreht werden kann, befindet sich der Körper in jeder Lage im Gleichgewichte, denn die Resultirende aller Schwerkräfte wird stets durch den Widerstand des festen Punctes aufgehoben. Doch ist hiebei nicht zu vergessen, daß, wenn der Schwerpunct des Körpers seinen Platz außerhalb der Masse desselben hat, wie z. B. bei einem Ringe, dieser Punct vorerst mit dem Körper in eine feste Verbindung gebracht werden muß.

136. Man bestimmt den Schwerpunct durch Versuche und durch Rechnung. Hängt ein Körper ruhig an einem biegsamen Faden, so liegt sein Schwerpunct offenbar in dessen Verlängerung. Wird ein Körper hinter einander an zwei verschiedenen, einander nicht gerade entgegengesetzten Stellen an einem Faden befestiget aufgehängt, und in beiden Lagen die Richtung des verlängerten Fadens an ihm angemerkt; so ist der Durchschnittspunct dieser beiden Richtungen der Schwerpunct des Körpers. Bei Körpern von gleichförmiger Dichte, die einen Mittelpunct der Symmetrie haben, muß der Schwerpunct in diesem liegen; bei ungleichförmig dichten mehr gegen die dichteren Theile zu. Auf diese Weise wird meistens der Schwerpunct bestimmt; man zieht sie

oft sogar der Rechnung vor, weil diese eine Gleichheit der Dichte an Körpern voraussetzt, welche in der Erfahrung selten Statt findet, und auch Kenntnisse der Integralrechnung fordert. Indessen gibt es auch Elementarmethoden für einzelne Fälle.

Der Schwerpunct eines Dreieckes ist eigentlich der aller schweren in ihm enthaltenen Puncte. Jeder Punct liegt aber in einer geraden Linie, welche mit einer der Seiten des Dreieckes parallel gezogen ist, und alle in einer solchen Linie befindlichen Puncte haben ihren Schwerpunct in der Mitte dieser Linie. Alle Halbirungspuncte der mit einer Dreieckseite parallelen Linien liegen wieder für sich in einer geraden Linie. Zieht man daher im Dreiecke ABC (Fig. 22) AD und BE, so daß $BD = DC$ und $AE = EC$ ist; so muß der Schwerpunct des Dreieckes sowohl in AD als in BE, mithin in ihrem Durchschnittspuncte F liegen. — Zur näheren Bestimmung dieses Punctes ziehe man ED, und man hat wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke AFB mit EFD und ECD mit ACB

$AF : FD = AB : ED$, $AB : ED = AC : EC = 2 : 1$, mithin $AF : FD = 2 : 1$ oder $AF : AD = 2 : 3$, d. i. $AF = \frac{2}{3} AD$.

Auf ähnliche Weise findet man den Schwerpunct einer dreiseitigen Pyramide. Durch jeden Punct derselben läßt sich eine Ebene legen, die mit einer beliebigen der vier Grenzflächen der Pyramide parallel ist, und letztere in einem Dreiecke schneidet. Der Schwerpunct eines jeden dieser Dreiecke läßt sich nach obiger Methode finden, und die Schwerpuncte aller parallelen Dreiecke liegen in einer geraden Linie. Ist daher in der Pyramide (Fig. 23) $AE = EC$ und $FB = \frac{2}{3} EB$, so liegt der Schwerpunct der ganzen Pyramide in DF. Aus demselben Grunde liegt der Schwerpunct der Pyramide in BG, wenn $DG = \frac{2}{3} DE$ ist, daher im Durchschnitte H beider Linien. — Man ziehe GF, so hat man, wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke GHF, DHB, dann der Dreiecke EGF, EDB; $DH : HF = DB : GF$, $DB : GF = DE : EG = 3 : 1$, mithin $DH : HF = 3 : 1$ und $DH : DF = 3 : 4$ oder $DH = \frac{3}{4} DF$.

137. Nicht jeder Körper, der durch Unterstützung seines Schwerpunctes gegen das Fallen geschützt ist, hat bei jeder Art der Unterstützung und unter allen Umständen einen gleich sichern Stand. Ist die Lage eines Körpers so beschaffen, daß sein Schwerpunct tiefer liegt, als bei jeder anderen, in die er durch sehr geringe Verrückung versetzt werden kann; so wird er selbst dann, wenn ihn eine Kraft bis zu einer gewissen Grenze aus dieser Lage bringt, wieder dahin zurückkehren. Man sagt, er sey im stabilen Gleichgewichte. Hat sein Schwerpunct einen höheren Stand, als er durch eine geringe Neigung erlangt, so kehrt er in diese seine Lage nicht mehr zurück, sobald man ihn durch eine auch noch so kleine Verrückung daraus bringt, und dann heißt es, er sey im labilen Gleichgewichte. Ein Körper, der im oberen Theile seiner Masse unterstützt ist, wie z. B. ein an einem Faden hängender Körper, hat stets ein stabiles Gleichgewicht; ein von unten an einem Puncte unterstützter Körper kann in stabilem oder labilem Gleichgewichte seyn. Man denke sich z. B. einen von einer krummen Fläche begrenzten Körper, z. B. ein Ei. Liegt dieses so auf einem Tische, daß seine größere Axe horizontal ist, so hat es eine stabile, wenn aber diese Axe vertical steht, eine labile Lage. Ein von unten unterstützter Körper, der seine Unterlage in wenigstens drei Puncten

berührt, die nicht in einer Geraden liegen, und zwischen welche seine Directionslinie fallt, ist stets im stabilen Gleichgewichte oder hat Stabilität. Bringt man einen stabilen Körper mehr und mehr aus seiner Lage, so gelangt er endlich in eine andere Gleichgewichtslage, die aber labil ist; durch fortgesetztes Neigen kommt er wieder in eine stabile Lage, und so folgt stets auf einen stabilen ein labiler Stand, in welchem er im Gleichgewichte steht, in jeder Zwischenlage muß er aber fallen. Man kann sich dieses leicht durch einen Würfel versinnlichen, den man um eine horizontale Axe so dreht, daß er abwechselnd auf eine Seitenfläche und auf eine Kante zu stehen kommt. Es gibt jedoch Fälle, wo weder von Stabilität noch von eigentlicher Labilität die Rede seyn kann, z. B. bei einer gleichförmig dichten, auf einer horizontalen Ebene ruhenden Kugel, die in allen möglichen Lagen im Gleichgewichte ist.

Die balancirenden Figuren scheinen in labilem Gleichgewichte zu seyn, während sie sich in der That in stabilem befinden; die Kunst des Seiltanzens besteht darin, sich in labilem Gleichgewichte zu erhalten. Die Lehre vom Schwerpuncte findet ihre Anwendung bei der Betrachtung der Haltung des Körpers beim Stehen, Gehen, Sitzen, Aufstehen, Lasttragen; auf ihr beruht die Sicherheit der schiefen Thürme zu Pisa und Bologna, die Einrichtung mehrerer Spielwerke, als des chinesischen Purzelmannes u. dgl.

138. Um einen Körper, der auf einer Grundlage stabil ruht, aus seiner Lage zu bringen, ist eine Kraft nöthig, deren Größe eine gewisse Grenze überschreitet. In der That sey G (Fig. 24) der Schwerpunct eines Körpers; AB der Durchschnitt seiner horizontalen Grundfläche mit einer Verticalebene, die den Punct G in sich enthält und auf der Kante bei A senkrecht steht; CD die in derselben Verticalebene angenommene Richtung einer horizontal wirkenden, der Größe nach noch unbestimmten Kraft P, welche den Körper um die Kante A zu drehen strebt. Man ziehe durch G und A die Verticalen EF, AH, welche mit CD und AB das Rechteck AEFH begrenzen. Das Gewicht des Körpers, welches wir durch Q vorstellen, kann als eine in G nach der Richtung GE angebrachte Kraft betrachtet werden, die man sammt der Kraft P auf den Punct F versetzen kann. Wählt man nun die Größe der Kraft P dergestalt, daß die Proportion $P:Q = FH:FE$ Statt findet, mithin $P = Q \cdot \frac{FH}{FE} = Q \cdot \frac{AE}{FE}$ ist, so hat die Resultirende der Kräfte P und Q die Richtung FA; wird aber $P < Q \cdot \frac{AE}{FE}$ angenommen, so trifft die Richtung dieser Resultirenden mit AB in einem Puncte zwischen A und E zusammen, und wenn $P > Q \cdot \frac{AE}{FE}$ ist, in einem Puncte außerhalb der AB, von B gegen A hin gesehen. In dem letzten Falle allein wird der Körper durch die Kraft P um die Kante A gedreht werden, in den übrigen Fällen bleibt er in Ruhe, nur ist die Richtung der Totalkraft, die der Körper gegen

seine Grundfläche ausübt, schief. Die Größe $Q \cdot \frac{AE}{FE}$, welche die Kraft P überschreiten muß, um die Drehung zu bewirken, kann man als das Maß der Standfähigkeit des Körpers für die gewählte Richtung der drehenden Kraft betrachten. In so fern einerlei Höhe des Angriffspunctes letzterer Kraft über der horizontalen Basis des Körpers Statt findet, also FE sich nicht ändert, steht die Stabilität in geradem Verhältnisse mit Q und AE, d. h. sie ist um so größer, je mehr das Gewicht des Körpers beträgt, und je weiter die Kante, um welche der Körper gedreht werden soll, von der Directionslinie entfernt ist. Bei einem und demselben Körper wird sich aber die Stabilität um so größer zeigen, je kleiner FE ist, d. h. je niedriger der Angriffspunct der drehenden Kraft liegt.

Nach diesem Gesetze wird die Standfähigkeit der Mauern, Möbel, belasteter Wägen, selbst der mehr oder weniger feste Stand eines Menschen beurtheilt

Die Eigenschaften des Schwerpunctes scheint Archimedes, unstreitig der größte Geometer des Alterthums (gest. im J. 212 v. Chr.), entdeckt zu haben. Er leitete sie aus dem Gesetze des Hebels ab, von dem im folgenden Kapitel die Rede ist.

Drittes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an Maschinen.

139. Maschine heißt jede Vorrichtung, mittelst welcher eine Kraft auf einen außer ihrer Richtung liegenden Punct wirkt. Gewöhnlich ist damit auch eine Aenderung in der Größe der Wirksamkeit dieser Kraft verbunden. Es liegt in der Natur der Sache, daß der Bewegung des Punctes, worauf die Kraft mittelst der Maschine wirken soll, ein Hinderniß entgegenstehe, weil sonst kein Grund vorhanden wäre, die Maschine anzuwenden. Dieses Hinderniß läßt sich stets als eine Gegenkraft betrachten, welche in Bezug auf erstere, die hier vorzugsweise Kraft heißt, die Last genannt wird. Es kommen daher bei jeder Maschine wenigstens diese zwei Kräfte in Betrachtung. Um die Vermittlung der Maschine zwischen der Kraft und Last einzusehen, denke man sich die Kraft so gewählt, daß sie der Last das Gleichgewicht hält. Das Verhältniß, in welchem die Größe der Kraft zu jener der Last hiebei steht, heißt das statische Verhältniß. Aus dem Begriffe einer Maschine geht hervor, daß die Richtungen der Kraft und Last einander nicht gerade entgegengesetzt sind; soll nun zwischen beiden Kräften Gleichgewicht herrschen, so müssen sich dieselben auf andere Kräfte reduciren lassen, welche dadurch unwirksam gemacht werden, daß ihre Richtungen durch unbewegliche Puncte gehen. Eine Maschine muß demnach derlei Puncte enthalten. Sie heißen Unterstützungspuncte. Eine Maschine, wovon kein Bestandtheil selbst wieder eine Maschine ist, heißt einfach, widrigenfalls zusammengesetzt.

140. Um die einfachen Maschinen auf einen Grundtypus zurückzuführen, lassen wir die Richtungen der Kraft und Last in dieselbe Ebene fallen. Diese Kräfte werden hier eine in in derselben Ebene wirkende Resultirende erzeugen, zu deren Vernichtung die Maschine in der Richtung letzterer Kraft einen fixen Punct enthalten muß. Ist nun (Fig. 16) A der Angriffspunct der längs Ax wirkenden Kraft P, B jener der nach By gerichteten Last Q, und G der fixe Punct, so geht, im Falle des Gleichgewichtes, die Richtung der Resultirenden R durch G, und die Größe derselben bestimmt zugleich den Druck, den G nach dieser Richtung auszuhalten hat. Aus 125 ist bekannt, daß, wenn aus G auf Ax und By die Senkrechten GH und GK fallen, und H mit K durch eine Gerade verbunden wird, die Proportion

$$P : Q : R = GK : GH : HK$$

Statt findet, welche daher nicht bloß das statische Verhältniß der Kraft und Last, sondern auch jenes des vom Unterstützungspuncte zu leistenden Widerstandes zu beiden Kräften anzeigt. Uebrigens ist klar, daß der fixe Punct nicht geradezu ein einzelner Punct zu seyn braucht, sondern irgend ein Punct einer festen Fläche seyn kann, gegen welche die Resultirende der Kraft und Last normal wirkt (131). Hiernach zerfallen die einfachen Maschinen in zwei Abtheilungen. Zur ersten Abtheilung gehören jene, bei welchen die Unterstützung durch einen Punct gegeben ist. Diese sind die Stangen- oder Seilmaschine, der Hebel, das Wellrad und die Rolle. Die zweite Abtheilung hingegen umfaßt die Maschinen, bei denen die Aufhebung der Resultirenden durch eine Fläche bewirkt wird. Sie sind die geneigte Ebene (oder allgemeiner eine beliebige krumme Fläche) die Schraube und der Keil.

141. Die Stangen- (oder Seil-) Maschine besteht aus drei Stangen, AO, BO, CO [Fig. 25] (Stricken, Schnüren, Ketten u. dgl.), welche in einem Puncte O, um welchen sie sich frei bewegen können, mit einander verbunden sind; an dem Ende A der einen, längs ihrer Richtung AO oder OA, wirkt die Kraft P, an dem Ende B der zweiten längs BO oder OB die Last Q, und das Ende C der dritten ist dergestalt befestigt, daß sich dieselbe um den fixen Punct C drehen kann. Im Zustande des Gleichgewichtes muß offenbar die Richtung der Resultirenden der Kräfte P und Q in die Gerade OC fallen. Es findet demnach das in 140 Gesagte hier seine volle Anwendung. Zieht man nämlich von C (oder von irgend einem anderen Puncte der CO, O ausgenommen) auf AO, BO die Senkrechten CH, CK, so ist

$$P : Q = CK : CH.$$

Hierauf beruht auch die Wirksamkeit der sogenannten Kniepresse. (S. Baumgartner's Mechanik. Wien 1834. S. 20. Fig. 13. Fechner in Pogg. Ann. 41. 501. Vergl. 42. 350.)

Nach dem in der Anmerkung zu 125 Gesagten ist leicht einzusehen, daß, wenn man die Kraft, welche C auszuhalten hat, R nennt, die Proportion $P : Q : R = \sin BOC : \sin AOC : \sin AOB$ Statt findet.

142. Ein **Hebel** ist eine unbiegsame Stange oder Linie ACB (Fig. 26 a und b), die um einen Punct C (Unterstützungspunct) beweglich ist, außer welchem die Kraft P und die Last Q angebracht sind. AC und BC heißen die **Hebelarme**. Wird diese Stange schwerlos gedacht, so heißt der Hebel ein **mathematischer**, ist sie schwer, ein **physischer** Hebel; liegen A, C, B in einer geraden Linie, so ist der Hebel ein **geradliniger**, sonst ein **Winkelhebel**. Liegt der Unterstützungspunct zwischen den Angriffspuncten der Kraft und Last, so heißt der Hebel **zweiarmig**, widrigenfalls **einarmig**. Ist AB ein mathematischer Hebel, er mag nun ein- oder zweiarmig, geradlinig oder ein Winkelhebel seyn; so stehen die Kräfte P und Q im Gleichgewichte, wenn sie sich verkehrt verhalten, wie die Senkrechten CD und CE, welche vom Unterstützungspuncte auf die Richtungen der Kräfte gezogen sind, oder wenn die Momente der Kraft und Last in Beziehung auf den Unterstützungspunct einander gleich sind; denn bei diesem Verhältnisse der Kräfte zu einander geht die Resultirende von P und Q durch den Unterstützungspunct C (140), und es kann keine Bewegung erfolgen. — Man kann diesen Satz auch umkehren und sagen: Sobald am Hebel AB Gleichgewicht herrscht, muß obige Proportion Statt finden. Denn es wird ersteres offenbar nur dann seyn können, wenn die Resultirende der Kräfte P und Q durch den Unterstützungspunct geht; dieses ereignet sich aber nur, wenn $P.CD = Q.CE$, oder wenn $P:Q = CE:CD$ ist. Wirken die Kräfte P und Q parallel auf einen geradlinigen Hebel, so stehen sie im Gleichgewichte, wenn sie sich verkehrt, wie die Hebelarme verhalten.

Diesen Satz hat zuerst **Archimedes** auf eine höchst sinnreiche aber minder strenge Weise bewiesen.

143. Der **physische Hebel** kann in einen mathematischen verwandelt werden, wenn man sein ganzes Gewicht in seinem Schwerpunct vereint annimmt, und ihn dann als schwerlos behandelt. Für den Stand des Gleichgewichtes muß das Moment dieses Gewichtes in Beziehung auf den Unterstützungspunct zu dem Momente der Kraft addirt werden, wenn der Schwerpunct auf die Seite der Kraft fällt und diese abwärts wirkt, oder wenn der Schwerpunkt auf die Seite der Last fällt und diese aufwärts wirkt; in den übrigen Fällen muß gedachtes Moment zu jenem der Last addirt werden. Hievon überzeugt man sich sogleich, wenn man eine der Kräfte am Hebel in zwei Theile zerlegt, wovon der eine der anderen Kraft, der zweite aber dem im Schwerpuncte des Hebels vereinigten Gewichte desselben das Gleichgewicht hält.

144. Der Hebel ist schon deßhalb sehr wichtig, weil er in sehr vielen Vorrichtungen zum Behufe der Gewerbe und Künste Anwendung findet, wie z. B. in den Brecheisen, Schaufeln, Zangen, Scheren, Hebladen, Hammerwerken, Rudern u. s. w.; für den Physiker wird er es nebst anderen besonders dadurch, daß darauf eines seiner wichtigsten Instrumente, die **Wage** beruht. Man unterscheidet zwei Gattungen Wagen, nämlich die **gemeine Wage** und die **Schnell-**

wage. Für die Physik ist die erstere besonders wichtig. Die gemeine Wage (Fig. 27) besteht, wie bekannt, aus dem Wagebalken, der Schere, der Zunge und aus den Schalen. Der Wagebalken liegt mittelst eines in der Mitte desselben zu beiden Seiten hervorragenden, nach unten in eine Schneide sich endigenden Zapfens auf den Lagern (Pfannen) der Schere. Diese Schneide ist die Drehungsaxe des Balkens. Auf ähnliche Weise sind die Wagschalen an dem Balken aufgehängt.

Der Wagebalken soll, wie immer innerhalb der Grenzen seines Tragvermögens belastet, eine stabile Gleichgewichtslage annehmen, und zwar eine horizontale bei gleicher, eine geneigte bei ungleicher Belastung der Schalen, und in letzterem Falle soll die Abweichung von der horizontalen Lage, der Ausschlag, um so größer werden, je größer der Unterschied der Lasten ist, die in beiden Schalen liegen. Die Stabilität des Balkens ohne Schalen erheischt, daß sein Schwerpunct tiefer liege als die Drehungsaxe; die Stabilität des Balkens mit belasteten Schalen, daß die Drehungsaxe über der Verbindungslinie der Aufhängepuncte der Schalen, welche Linie die Längenaxe des Balkens heißen mag, sich befinde. Zur horizontalen Ruhelage des unbelasteten Balkens ist erforderlich, daß die Verbindungslinie der Drehungsaxe mit seinem Schwerpunct die Längenaxe senkrecht durchschneide; soll die horizontale Lage des Balkens überdieß noch bei belasteten Schalen Statt finden, so muß der Durchschnittspunct vorgenannter Linien zugleich der Halbirungspunct der Längenaxe seyn. Dieser Halbirungspunct heißt der Mittelpunct des Wagebalkens. In dieser Anordnung des Mittelpunctes besteht die Gleicharmigkeit des Wagebalkens; die Zunge des Wagebalkens ist hiebei die Vereinigung der Geraden, welche durch die Drehungsaxe, den Mittelpunct und durch den Schwerpunct des Wagebalkens geht. Je kleiner der Abstand des Mittelpunctes wie auch des Schwerpunctes von der Drehungsaxe in Vergleichung mit der Länge des Wagebalkens, und je geringer das Gewicht des Wagebalkens und der Belastung ist, ein desto geringerer Unterschied in der Belastung beider Schalen reicht hin, einen bestimmten Ausschlagwinkel hervorzubringen, und desto empfindlicher ist daher die Wage. Man schätzt die Empfindlichkeit einer Wage nach dem aliquoten Theile der größten, ihrem Tragvermögen angemessenen Belastung, den sie noch anzuzeigen vermag.

Es sey (Fig. 28) A B die Längenaxe des Wagebalkens in einer durch ungleiche Belastung der Wagschalen hervorgebrachten schiefen Gleichgewichtslage, C der Mittelpunct, G der Schwerpunct, E die Drehungsaxe, also G x die Richtung der Zunge und der Winkel x E y, den diese mit der Verticallinie E y macht, der Ausschlag. Das Gewicht des Wagebalkens sey Q; jede Schale habe das Gewicht S und sey mit dem Gewichte P belastet, überdieß aber sey in die Schale A das Gewicht p zugelegt. Man kann das Gewicht des Wagebalkens in seinem Schwerpuncte, und die gleichen Gewichte der Schalen und Belastungen in dem Mittelpuncte concentrirt denken, daher wird die Gleichgewichtslage des Wagebalkens durch die drei Kräfte p, 2(S + P) und Q her-

vorgebracht, die in den Puncten A, C, G nach den verticalen Richtungen A u, C z, G w wirken. Das Gewicht p läßt sich aus zwei Theilen p' und p'' zusammengesetzt betrachten, wovon der erste der Kraft in C, der zweite der Kraft in G das Gleichgewicht hält. Zieht man nun durch den Unterstützungspunct E eine Horizontallinie, welche den vorgenannten Verticalen in a, c, g begegnet, so hat man nach dem Gesetze des Hebels, $p' . Ea = 2 (S + P) . Ec$ und $p'' . Ea = Q . Eg$, mithin durch Addition $(p' + p'') \, Ea = 2 (S + P) \, Ec + Q . Eg$, oder

$$p (ac - Ec) = 2 (S + P) \, Ec + Q . Eg.$$

Diese Gleichung zeigt, daß wenn unter den Größen ac, Ec, Eg, S + P, Q alle bis auf eine ungeändert bleiben, zur Verringerung von p nothwendig entweder ac vergrößert, oder eine der übrigen vier Größen verringert werden muß. Bleibt der Ausschlagwinkel derselbe, so ändern sich Ac, Ec, Eg in demselben Verhältnisse, wie AC, EC, EG; es wird also zur Hervorbringung von einerlei Ausschlagwinkel ein kleineres p genügen, wenn entweder AC wächst oder EC, EG, S + P, Q abnehmen, wodurch die oben ausgesprochene Behauptung gerechtfertigt ist. Eine gute Wage soll wenigstens $\frac{1}{60000}$ des Maximums der Belastung anzeigen. Ramdens berühmte Wage gab bei einer Belastung von 10 Pfd. noch 0,006 Gr., also den 12millionsten Theil der Belastung an. Fortins Wagen zeigen bei 4 Pfd. Belastung noch $\frac{1}{50}$ Gran, mithin $\frac{1}{1536000}$ der Last. Die Wagen, welche Florenz in Wien verfertigt, geben bei einer Belastung von $4\frac{1}{2}$ Pfd. noch mit $\frac{1}{8}$ Richtpfennig, also mit $\frac{1}{4707864}$ einen sehr deutlichen Ausschlag.

145. Obgleich es sehr leicht ist, die Bedingungen anzugeben, von denen die Genauigkeit einer Wage abhängt, so darf man in der Ausübung doch nicht hoffen, denselben in aller Schärfe zu entsprechen, ja selbst wenn sie wirklich streng erfüllt werden könnten, so würden sie dennoch durch die kleinste Ungleichheit in der Temperatur des Wagbalkens oder in der Vertheilung einiger auf demselben liegenden Stäubchen wieder verletzt. Demnach sind die besten Wagen, genau genommen, doch noch falsche Wagen, aber die Fehler sind so klein, daß man sie in vielen Fällen ganz vernachläßigen kann. Glücklicher Weise läßt sich nicht nur allein die Falschheit einer Wage sehr leicht erkennen, sondern man findet, wenn man den in 50 allgemein vorgezeichneten Weg einschlägt, selbst mit einer falschen Wage das Gewicht eines Körpers richtig, und wird daher bei subtilen Untersuchungen, wenn man auch mit den besten Wagen zu thun hat, stets nur das am angeführten Orte gewiesene Verfahren befolgen. Die Richtigkeit einer Wage wird dadurch geprüft, daß man, nachdem man an derselben zwei Lasten in das Gleichgewicht gesetzt hat, diese unter einander verwechselt. Aendert sich hiebei die Ruhelage des Wagebalkens, so ist die Wage unrichtig. Um mit einer solchen Wage dennoch richtig zu wägen, legt man den abzuwägenden Körper A in eine Schale, und so viel Tara in die andere, als nöthig ist, um das Gleichgewicht herzustellen, nimmt hierauf A heraus, setzt dafür Gewichte P, so daß das Gleichgewicht fortbesteht. Hier muß P = A seyn, wenn zwischen den Zapfen und Pfannen keine Reibung Statt findet. Da aber diese Reibung immer vorhanden ist, so muß man ihren Einfluß dadurch unschädlich machen, daß man denselben bei beiden Abwägungen von derselben Größe zu erhalten sucht.

Dieses wird dadurch bewirkt, daß man den Wagebalken, sobald A mit der Tara ins Gleichgewicht gekommen ist, in der Lage seiner Ruhe unterstützt, erst hierauf A wegnimmt, durch Gewichte ersetzt, denen nicht viel von A fehlt, und dann erst den Balken frei läßt.

Doch erhält man auch bei der pünctlichen Befolgung dieser Vorschrift nur das scheinbare Gewicht des Körpers in der Luft, und muß erst daraus das wahre im leeren Raume ableiten, worüber die Folge Aufschluß geben wird. (Ueber Berechnung der bei Wägungen vorkommenden Reductionen von Schumacher. Hamburg 1838.)

146. Die Schnellwage (Fig. 29) hat einen Balken mit ungleichen Armen. An einem bestimmten Puncte des kürzern Armes wird der abzuwägende Körper A angebracht und am längern ein bestimmtes Gewicht P (der Laufer) so lange hin oder her geschoben, bis es mit A bei horizontaler Lage des Wagebalkens im Gleichgewichte steht. Hält der unbelastete Balken in der horizontalen Lage aus, so heißt die Wage eine mathematische Schnellwage. An derselben ist die Verbindungslinie der Drehungsaxe mit dem Schwerpuncte des Wagebalkens auf seiner Längenaxe senkrecht. Der Durchschnittspunct beider kann, als Mittelpunct der Kräfte, auch hier Mittelpunct des Balkens heißen, obgleich er denselben nicht halbirt. Ist die Entfernung des Körpers von dem Mittelpuncte $= a$, die des Laufers $= b$, so ist offenbar $Aa = Pb$ oder $A = P.\frac{b}{a}$, und für $a = 1$, $A = Pb$. Man kann daher a auf den längern Arm so oft übertragen, als es angeht, und durch Multiplication des Laufergewichtes mit der Anzahl Theilstriche, die zwischen den Laufer und die Axe fallen, das Gewicht von A bestimmen. Die Empfindlichkeit der Wage hängt hier von ähnlichen Umständen ab, wie die der gleicharmigen Wage. Bleibt aber der Balken unbelastet nicht in der horizontalen Lage in Ruhe, d. h. ist die Wage eine physische Schnellwage, so kann obige Gleichung nicht gelten, und man bestimmt die Puncte des längeren Armes, an welchem P mit einer gewissen Last im Gleichgewichte steht, besser durch Erfahrung.

147. Das Wellrad stellt Fig. 30 vor. Es ist ein um seine Axe beweglicher Cylinder mit einem Rade, dessen Axe mit jener des Cylinders zusammenfällt, und zugleich auf der Ebene des Rades senkrecht steht. Die Kraft wirkt am Umfange des Rades, die Last am Umfange des Cylinders. Denkt man sich die Last in die Ebene des Rades versetzt, so wird dadurch am Erfolge der Kraft nichts geändert, weil Welle und Rad mit einander unveränderlich verbunden sind, und dann stellt Fig. 31 einen Querschnitt dieser Maschine vor, aus dem ersichtlich wird, daß sie auf einen Hebel zurückgeführt werden kann, dessen Ruhepunct C in der Axe des Rades liegt, während in A die Last Q, in B die Kraft P wirkt. Obgleich man also das Wellrad als eine besondere einfache Maschine anzusehen pflegt, so ist es doch nur eine so oftmalige Wiederholung desselben Hebels, als sich Rad- und Wellenhalbmesser denken lassen. Man hat daher für den Zustand des Gleichgewichtes $P : Q = AC : BC$, d. i. die Kraft verhält sich zur

Last, wie der Halbmesser des Cylinders zum Halbmesser des Rades; der Druck aber, den der Ruhepunct C auszuhalten hat, ist der Verbindungslinie der Puncte A und B proportionirt (140), so daß derselbe sich ändert, wenn A und B an andere Stellen des Umfanges der Welle und des Rades fallen, ohne daß deßhalb an dem statischen Verhältnisse der Kraft und Last eine Aenderung vor sich geht. Das Wellrad erscheint im gemeinen Leben als Winde, Haspel, Göpel, Zahnrad, Wasserrad u. s. w.

148. Eine Rolle ist eine kreisrunde, an ihrem Umfange mit einer Rinne versehene Scheibe. Ist sie bloß um ihre Axe beweglich, so heißt sie fix; läßt sie sich aber nicht bloß um ihre Axe drehen, sondern auch sammt derselben bewegen, so nennt man sie beweglich. Es stelle Fig. 32 eine Rolle vor, AB sey ein von einem absolut biegsamen Stricke umfaßtes Bogenstück, C ihr Mittelpunct, P und P′ Kräfte, welche nach Ax und By wirken, so daß Ax und By Tangenten der Scheibe sind. Ist nun C ein fixer Punct, so wird zum Gleichgewichte der genannten Kräfte erfordert, daß

$$P \cdot CA = P' \cdot CB, \text{ d. i. } P = P'$$

sey; in der fixen Rolle ist also im Stande des Gleichgewichtes die Kraft gleich der Last. Der Druck, der hierbei auf C ausgeübt wird, verhält sich nach 140 zu jeder der Kräfte, wie die Sehne AB des vom Stricke umfaßten Bogens zum Halbmesser CA der Rolle. Denkt man sich einen Punct des Strickes By durch einen Nagel fest gehalten, dafür aber in C eine Kraft Q dem oben erwähnten Drucke entgegen wirkend und ihm an Größe gleich, welche Kraft offenbar von C gegen den Durchschnittspunct D der verlängerten Ax und By gerichtet seyn muß, so hat man eine bewegliche Rolle vor sich, wobei P die Kraft und Q die Last ist. Daher verhält sich in der beweglichen Rolle im Gleichgewichte die Kraft zur Last, wie der Halbmesser der Rolle zur Sehne des vom Stricke umfaßten Bogens. Für parallele Kräfte wird $P:Q = AC:2AC = 1:2$. So lange $AB > AC$, oder der umfaßte Bogen größer ist als 60° und kleiner als 300°, findet Gewinn an Kraft Statt; sobald aber dieser Bogen kleiner wird als 60° oder größer als 300°, herrscht das Gegentheil.

149. Jede Ebene, die mit einer horizontalen einen spitzigen Winkel macht, heißt geneigt oder schief. Ist C (Fig. 33) ein Punkt der Durchschnittslinie der geneigten Ebene mit einer horizontalen, BC in ersterer, AC in letzterer auf diese Durchschnittslinie senkrecht, und BAC ein rechter Winkel, mithin BA vertical, so heißt AC die Basis, AB die Höhe, BC die Länge und ACB der Neigungswinkel der schiefen Ebene. Befindet sich auf BC ein Körper, dessen Schwerpunct in G ist und dessen Gewicht Q heißt, so sucht ihn die Schwere nach der verticalen Richtung Gz zu bewegen. Soll ihn eine Kraft P, die nach Gx wirkt, auf BC erhalten, so muß die Richtung der Resultirenden von P und Q auf BC senkrecht stehen, und durch die Grundfläche des Körpers gehen, widrigen Falls derselbe auf der Ebene umschlagen würde. Ist daher GE die Richtung dieser Re-

sultirenden, und stehen EH und EK auf Gx und Gz senkrecht, so wird für den Zustand des Gleichgewichtes im Allgemeinen seyn:

$$P : Q = EK : EH.$$

In dem besondern Falle, wenn P der Basis der schiefen Ebene parallel wirkt (Fig. 34), ist EH = GK, und da hier die Dreiecke GEK, ABC ähnlich sind, ist EK : GK = AB : AC, daher

$$P : Q = AB : AC,$$

d. h. es verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zur Basis. Ist aber die Richtung der Kraft P der Länge der schiefen Ebene parallel (Fig. 35), so fällt EH in die EG, und man hat P : Q = EK : EG. Die Aehnlichkeit der Dreiecke EGK, ABC gibt aber EK : EG = AB : BC, daher ist auch P : Q = AB : BC, mithin verhält sich die Kraft zur Last wie die Höhe der schiefen Ebene zur Länge.

Setzt man an die Stelle der schiefen Ebene eine krumme Fläche, so ist zum Gleichgewichte zwischen Kraft und Last erforderlich, daß die Resultirende beider auf die Fläche normal einwirke, mithin die Richtung derselben auf der tangirenden Ebene der Fläche in dem Berührungspuncte senkrecht stehe. Dieser Fall reducirt sich hiedurch auf jenen der schiefen Ebene. Das Gesetz des Gleichgewichtes auf der schiefen Ebene hat zuerst Stevin 1605 bekannt gemacht, und Galilei später streng bewiesen.

150. Zur Erörterung der Theorie der Schraube ist es nöthig, sie auf eine schiefe Ebene zurückzuführen, und zu diesem Zwecke die Art, wie man sich eine Schraube entstanden denken kann, nebst der Methode, zu einer Schraubenlinie eine Tangente zu ziehen, vorläufig anzugeben. Um von der Entstehung einer Schraube eine richtige Ansicht zu fassen, sey AB (Fig. 36) ein gerader Cylinder, dessen Axe, der Deutlichkeit wegen, vertical stehen mag. Man denke sich ein Rechteck abdc, dessen Basis bd dem Umfange, und dessen Höhe ab der Höhe des Cylinders gleich ist, theile ab in eine beliebige Anzahl gleicher Theile ae, ef, fg, gh, hb, ziehe durch die Theilungspuncte die mit bd Parallelen ee', ff', gg', hh' und die Diagonalen ec, fe', gf', hg', bh'. Wird nun das Rechteck abdc um den Cylinder gewickelt, so entsteht aus den geraden Diagonalen eine Schraubenlinie. Ein Stück wie ec bildet einen Schraubengang und ae den Abstand der Schraubengänge. Der Cylinder AB heißt nun Schraubencylinder, und wenn sich an ihm Hervorragungen nach der Richtung der Schraubenlinie herumziehen, eine Schraube, wohl auch eine Schraubenspindel; sind aber die Schraubengänge an einer cylindrischen Höhlung eines Körpers eingeschnitten, so nennt man ihn Schraubenmutter. — Denkt man sich eine Ebene CD (Fig. 37), welche den Schraubencylinder in der geraden Linie mn berührt, die mit ab gleichlaufend ist, so entstehen durch Abwicklung der Cylinderfläche auf diese Ebene lauter gerade Linien, die mit mn denselben Winkel machen, welchen die Diagonalen ec, fe' rc. mit ab bilden, und jede dieser Linien wird eine Tangente ihres Schraubenganges. Man kann daher

zu einem Puncte o der Schraubenlinie eine Tangente ziehen, wenn man in CD ein rechtwinkliges Dreieck $\alpha\beta\gamma$ beschreibt, dessen mit mn parallele Höhe $\alpha\beta$ dem Abstande zweier Schraubengänge, dessen Basis $\alpha\gamma$ dem Umfange des Schraubencylinders gleich ist, und dessen Hypotenuse $\beta\gamma$ durch den Punct o geht.

151. Es seyen MoN, Fig. 38, die Schraubengänge einer vertical stehenden Spindel, deren Axe AB ist, und man suche das statische Verhältniß zwischen der Last Q und der am Umfange des Cylinders horizontal wirkenden Kraft P, in der Voraussetzung, daß keine Reibung vorhanden sey, und daß der Cylinder die Schraubenmutter nur im Puncte o berühre. Die Last Q wirkt in o vertical abwärts, und weil die Kraft P dasselbe Moment in Beziehung auf die Axe AB hat, sie mag auf was immer für einen Punct am Umfange des Schraubencylinders wirken, so kann man sie auch nach o versetzt denken. Es wirken daher beide Kräfte auf o, und die eine hat zu verhindern, daß der Punct o nicht längs der Schraubenlinie hinabgleite. Da es aber hier bloß um die Verhinderung des Anfanges der Bewegung zu thun ist, so muß P nur verhindern, daß o nicht längs der Tangente bc, d. i. über die schiefe Gerade abwärts gehe. Da ist aber (149) $P : Q = ba : ac$; mithin verhält sich bei der Schraube im Gleichgewichte die Kraft zur Last, wie der Abstand zweier Schraubengänge zum Umfange des Schraubencylinders. — Ist die Schraube mit mehreren Puncten o, o', o'' der Schraubenmutter in Berührung, so wird die ganze Last Q in eben so viele Theile q, q', q'' zertheilt, wovon q auf o, q' auf o', q'' auf o'' wirkt, und wo $q + q' + q'' = Q$ ist. Ist p die Kraft, welche der q, p' diejenige, welche der q' das Gleichgewicht hält u. s. f., so hat man

$$p : q = ba : ac$$
$$p' : q' = ba : ac$$
$$p'' : q'' = ba : ac, \text{ mithin}$$

$$p + p' + p'' : q + q' + q'' = ba : ac$$ oder wie vorhin,

$$P : Q = ba : ac.$$

152. Ein **Keil** ist ein dreiseitiges Prisma (Fig. 39), das mit seinen Seitenflächen, z. B. mit AD und ED zwischen zwei Körper hineingetrieben wird, um sie zu trennen. Stellt ABC (Fig. 40) einen auf die Kante AB (Fig. 39) senkrechten Durchschnitt des Keiles vor, auf dessen Seite AC die Kraft P senkrecht wirkt, während auf die Seiten AB und BC (Fig. 40) die Last so vertheilt ist, daß davon auf AB die Componente q, und auf CB die Componente q' wirkt; so sey DE die Richtung der Kraft P, und Dy auf AB, Dz auf BC senkrecht. Fällt man nun aus E auf Dy und Dz die Senkrechten EF und EG und zieht FG, so ist $P : q : q' = FG : EG : EF$. Aber die Dreiecke EFG, ABC sind ähnlich, denn es ist der Winkel

$$FGE = FDE = CAB \text{ und } FEG = CBA, \text{ daher ist}$$
$$FG : EG : EF = AC : AB : CB, \text{ mithin}$$
$$P : q : q' = AC : AB : CB.$$

153. Aus diesen einfachen Maschinen besteht die unendliche Anzahl zusammengesetzter Vorrichtungen, deren man sich zu den mannigfaltigsten Zwecken bedient. Die Zusammensetzung geschieht auf zweierlei Art, entweder wirkt da eine Maschine mit der andern, oder mittelst der andern. Als Beispiel der ersten Art kann der gemeine Flaschenzug gelten, den Fig. 41 vorstellt. Ist daselbst die Kraft P am freien Strickende, die Last Q an der unteren Flasche angebracht, so ist es klar, daß alle Stricke gleich stark gespannt seyn müssen, wenn P mit Q im Gleichgewichte seyn soll, und daß daher bei n Stricken seyn muß $P = \frac{Q}{n}$.

Bei zusammengesetzten Maschinen der zweiten Art ist die Last der ersten Bestandmaschine, auf welche nämlich die Kraft P unmittelbar wirkt, die Kraft bei der zweiten; die Last an dieser die Kraft an der dritten u. s. w. Heißt daher a:b das Verhältniß der Kraft zur Last bei der ersten Maschine, wenn sie im Gleichgewichte ist, eben so $a':b'$, $a'':b''$, $a''':b'''$ rc. bei der zweiten, dritten, vierten rc., Q die Last bei der letzten, x die Last der ersten, x', x'' rc., die der zweiten, dritten rc.; so wird

$$\begin{aligned} P : x &= a : b \\ x : x' &= a' : b' \\ x' : x'' &= a'' : b'' \\ x'' : Q &= a''' : b''', \text{ mithin} \\ \hline P : Q &= a\,a'\,a''\,a''' : b\,b'\,b''\,b'''. \end{aligned}$$

Es ist daher das Verhältniß der Kraft zur Last aus den einfachen Verhältnissen der Bestandmaschinen zusammengesetzt.

Alle hier angeführten Gesetze des Gleichgewichtes sind nur besondere Fälle eines allgemeinen Princips, welches das Princip der virtuellen Geschwindigkeiten genannt wird und so lautet: Wenn ein System von so viel Körpern oder Puncten, als man will, wovon jeder durch Kräfte afficirt wird, im Gleichgewichte steht, und man ertheilt dem Systeme eine unendlich kleine, mit der Beschaffenheit desselben verträgliche Bewegung, vermög welcher jeder Punct des Systems einen unendlich kleinen Weg zurücklegt, so ist die Summe aus den Producten jeder Kraft in den Weg, den ihr Angriffspunct nach der Richtung der Kraft beschreibt, vorausgesetzt, daß man die Wege, welche nach entgegengesetzten Richtungen beschrieben werden, durch + und — unterscheidet, entweder gleich Null oder negativ, je nachdem zu jeder Verschiebung des Systems auch die entgegengesetzte möglich ist oder nicht. Dieses Princip wurde in dieser Allgemeinheit zuerst von Joh. Bernoulli 1717 ausgesprochen; seinen Werth stellte aber erst Lagrange (1788) in das volle Licht.

Viertes Kapitel.

Gleichgewicht der Theile fester Körper unter einander. (Theorie der Cohärenz.)

154. Bereits im vorhergehenden Abschnitte (45) wurde angedeutet, daß die Verschiedenheit des Aggregationszustandes der Körper sich auf die Mannigfaltigkeit der relativen Intensität zweier die Molekel beherrschenden Grundkräfte, der Anziehungs- und der Abstoßungskraft zurückführen lasse. Hier soll nun das der festen Körperform zum Grunde liegende Verhältniß dieser Kräfte näher betrachtet werden, wobei ihre Resultirende bei Vergrößerung des Abstandes der Molekel entschieden anziehend auftritt, und nicht bloß eine gewisse Art und Stärke des Zusammenhanges der Theile, sondern wenn die Molekel frei beweglich sind und einander hinreichend nahe kommen, auch eine bestimmte Anordnung derselben, d. i. eine bestimmte Gestaltung des durch ihre Vereinigung entstehenden Körpers bedingt. Die Gesetze der hierauf sich beziehenden Erscheinungen lassen sich nur durch Erfahrung ausmitteln, und dazu liefert das Folgende das Materiale.

A. Krystallisation der Körper.

155. In der ganzen Natur ist das Bestreben der kleinsten Theile, sich zu einem symmetrisch geformten Ganzen zu vereinigen, unverkennbar, und diesem gemäß zeigen auch sowohl die organischen, als unorganischen Körper, wenn sie sich ungestört bilden konnten, eine auffallende Symmetrie ihres Baues; nur unterscheiden sich die Körper beider Naturreiche dadurch von einander, daß in ersterem die runden, in letzterem die eckigen Formen vorwalten. Ein Körper des Mineralreiches, welcher aus gleichartiger Materie besteht und von ursprünglich vorhandenen ebenen, zu einer symmetrischen Form verbundenen Flächen begrenzt wird, heißt ein Krystall. Die Natur liefert uns unzählige Körper in Krystallform; an manchem erkennt man die Symmetrie seines Baues nur darum nicht, weil er ein Aggregat von sehr kleinen, regelmäßig gebildeten Theilen oder ein Bruchstück eines größeren Krystalles ist. Nur ein Krystall ist unter den unorganischen Körpern ein in naturhistorischer Hinsicht für sich bestehendes Ganzes, ein Individuum.

156. Soll ein Stoff krystallisiren, so ist nothwendig, daß seine kleinsten Theile ihrer innern Kraft ungehindert folgen können. Da dieses nur bei flüssigen Körpern der Fall ist, so muß man feste Körper, die man krystallisiren will, vorläufig durch ein Auflösungsmittel oder durch Erwärmen tropfbar oder ausdehnsam machen, hierauf aber ihre Theile wieder einander so nahe bringen, daß die Cohäsionskraft mit der nöthigen Stärke zu wirken anfangen kann. Letzteres bewirkt man: 1) durch langsames Abkühlen. Durch dieses Mittel krystallisiren geschmolzene Körper, jedoch erhält man in der Regel nur dann schöne Krystalle, wenn man nur einen Theil der geschmolzenen Masse fest werden läßt und den noch flüssigen Rest abgießt (Schwefel, Metalle).

Bei Auflösungen ist es nur dann wirksam, wenn das Auflösungsmittel von dem krystallisirbaren Stoffe bei höherer Temperatur mehr aufzunehmen vermag, als bei niederer. 2) Durch Verflüchtigung des Auflösungsmittels mittelst der Wärme. Auf diese Weise krystallisirt Kochsalz, Salpeter 2c. 3) Durch Zusatz eines Stoffes, der das Auflösungsmittel bindet, oder auf andere Weise eine Zersetzung bewirkt. So bekommt man aus einer wässerigen Auflösung des schwefelsauren Kupferoxydes durch Zusatz von Weingeist Krystalle; auch die Ausscheidung der Stoffe in Krystallform durch Elektricität gehört hieher. 4) Durch starkes Comprimiren der Flüssigkeit. Auf diesem Wege hat Perkins aus der flüssigen Essigsäure schöne Krystalle erhalten. — Welches von diesen Mitteln immer gewählt werden mag oder muß, so darf es doch nie schnell wirken, weil sonst die auf einmal in zu großer Menge fest werdenden Theile sich gegenseitig hindern, eine regelmäßige Form anzunehmen, und das Ganze wohl ein Aggregat kleiner Krystalle ist, diese aber zu einem ganz unsymmetrischen Klumpen zusammengewachsen sind. Es versteht sich von selbst, daß nur solche Stoffe krystallisiren können, die sich ohne Veränderung ihrer chemischen Natur in tropfbare oder expansible Form bringen lassen.

Ein merkwürdiges Beispiel des Krystallisirens eines geschmolzenen Körpers lehrt Marx am essigsauren Natrum kennen. Wird dieses über einer Weingeistlampe geschmolzen, und hierauf von der Flamme entfernt, so trennt sich die Flüssigkeit plötzlich von den Wänden des Gefäßes, zieht sich zusammen und wird fest. So wie sich aber eine feste Haut gebildet hat, brechen aus dem Innern Krystalle hervor, und wachsen rasch aufwärts.

Da die angeführten Mittel nicht auf jeden Stoff gleich stark oder gleich schnell wirken, so kann man sich ihrer bedienen, um aus einer Mischung mehrerer Stoffe einen oder den andern auszuscheiden. So trennt man das Digestivsalz vom Salpeter aus einer Lösung, worin beide enthalten sind, bei der gewöhnlichen Salpeterbereitung durch bloßes Abkühlen der Masse, weil ersteres später krystallisirt als letzterer.

157. Die Bildung der Krystalle kann durch gewisse Umstände ausnehmend erleichtert werden. Ist eine Flüssigkeit schon nahe daran, Krystalle zu liefern, so ist dem Anschießen derselben oft ein schwacher Stoß sehr förderlich. Dieser hilft die Trägheit der Theilchen überwinden, und unterstützt dadurch die Cohäsionskraft. Ein anderes Beförderungsmittel ist die Berührung des krystallisirbaren Stoffes mit einem festen Körper, besonders mit einem Krystall derselben Natur, oder auch nur mit der Luft. Die schon gebildeten Krystalle lassen sich durch besondere Verfahrungsweisen rein erhalten oder auch vergrößern.

Beispiele: Eine krystallrechte Lauge gibt immer an den Wänden des Gefäßes und an der Oberfläche, wo sie die Luft berührt, die ersten Krystalle; Hineinstellen von Stäben, Schnüren 2c. beschleunigt darum die Krystallbildung. Legt man in eine Kochsalzlösung einen Salzkrystall, so sieht man ihn schnell wachsen, wenn man auch vorher in der Flüssigkeit noch nichts von einer anfangenden Krystallisation bemerken konnte. Nimmt man einen solchen Krystall heraus, bricht davon ein Stück ab, und legt ihn wieder an seinen vorigen Platz, so wird das abgerissene Stück wieder völlig ersetzt. Gibt man in eine Lösung von 3 Th. Glau-

bersalz und 2 Th. Salpeter in lauem Wasser einen Salpeterkrystall, so schießt bloß Salpeter an, thut man aber dasselbe mit einem Glaubersalzkrystall, so erfolgt bloß das Krystallisiren des Glaubersalzes. Legt man in eine Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd und schwefelsaurem Zinkoxyd einen Eisenvitriolkrystall, so vergrößert sich dieser Krystall durch die Masse der Auflösung, ohne Aenderung seiner Gestalt; legt man den vergrößerten Krystall wieder in eine Eisenvitriollösung, so vergrößert er sich auf dieselbe Weise in dieser, und man kann durch Wiederholen dieses Verfahrens einen Krystall erhalten, der aus abwechselnden, parallelen Schichten von grünlichem Eisenvitriol und schwefelsaurem Zinkkupferoxyd besteht. Vielleicht gehört auch das von Brewster erzählte merkwürdige Factum hieher, daß ein Tropfen einer in Schwerspath eingeschlossen gewesenen Flüssigkeit nach dem Herausnehmen zu einem Krystall erstarrte, ohne daß man es einer Verdünstung der Flüssigkeit zuschreiben konnte, so wie die Erfahrung Wackernagl's, der bemerkt hat, daß sich Krystalle, die mit Firniß überzogen sind, in ihrer Lauge noch merklich vergrößern, woraus er den Schluß ziehen will, die Cohärenzkraft wirke auf eine merkliche Entfernung. Das Efflorksciren, vermög welchem sich weit über der Oberfläche der Flüssigkeit an den Gefäßwänden seine Krystalle bilden, wie dieses vorzüglich beim Salpeter bemerklich ist, läßt sich auch hieraus erklären. Leblanc lehrt Salzkrystalle von jeder Größe erzeugen. Er empfiehlt die gehörig abgedampfte Lauge ruhig erkalten zu lassen, den Rest von den schon gebildeten Krystallen in eine flache Schale abzugießen, und die Bildung neuer Krystalle abzuwarten. Von diesen soll man die schönsten auswählen, sie in ein anderes flaches Gefäß neben einander legen, jedoch so, daß keine Berührung unter ihnen eintreten kann, und die neuerdings krystallrecht gemachte Lauge darüber gießen, jeden Krystall wenigstens täglich einmal umlegen, und dieses Verfahren so oft wiederholen, als sich die Lauge noch krystallrecht machen läßt, oder bis die Krystalle groß genug sind. Ein anderes Verfahren, aus kleineren Krystallen größere zu erhalten, besteht darin, diese Krystalle mit ihrer Lauge an einen Ort zu bringen, wo sie einem Temperaturwechsel ausgesetzt sind. Hat die Lauge in der Wärme ein größeres Auflösungsvermögen als in der Kälte, so wird bei jedem Steigen der Temperatur etwas von den Krystallen aufgelöset; aber weil die kleineren im Verhältniß zu ihrer Masse eine größere Oberfläche haben, als die größeren, so werden auch jene mehr verlieren als diese, während doch beim Sinken der Temperatur alle Krystalle nur gleichen Zuwachs erhalten. Daher werden nach und nach alle kleineren Krystalle verschwinden, und somit wenige, aber desto größere zum Vorschein kommen. (Zeitschr. 3. 392. Pogg. Ann. 11. 323.)

158. Viele Stoffe, die in Krystallform aus einer wässerigen Auflösung ausgeschieden werden, verbinden sich mit einer gewissen Quantität Wasser, das in diesem Zustande gleichfalls fest erscheint. Man nennt es **Krystallisationswasser**. Die Menge desselben ist oft verschieden, je nachdem ein Stoff sich aus einer heißen Flüssigkeit schnell abscheidet, oder sich aus einer langsam erkaltenden oder bereits kalten nur allmälig absetzt. Dieses Wasser verlieren viele Krystalle wieder bei der gewöhnlichen Lufttemperatur ganz oder theilweise; sie büßen dann auch ihre Krystallgestalt ein und zerfallen. Man nennt dieses ein **Verwittern** (Glaubersalz). Andere geben erst in höherer Temperatur einen Theil ihres Krystallwassers ab, und verwandeln sich dadurch in einen selbst chemisch betrachtet verschiedenen Stoff (Zinkvitriol,

Grünspan u. a.). Viele Krystalle, besonders Salze, nehmen ihr in der Luft oder in der Hitze verlorenes Krystallwasser wieder auf, wenn sie mit Wasser in Berührung kommen (Verhärten des Gipses).

Manche Stoffe nehmen beim Krystallisiren tropfbares Wasser, einen Theil der Mutterlauge oder auch andere Flüssigkeiten, ja sogar Gase auf. So findet man oft in Bergkrystallen Wassertropfen. Brewster hat in Topasen, Amethisten ꝛc. sehr viele Höhlungen (in einem Stück Cymophan von $^1/_2$ Q. Zoll Fläche fand er deren 30,000) entdeckt, die mit eigenen Flüssigkeiten angefüllt waren; selbst mitten im Eis fand er Wassertropfen (Zeitschr. 1. 414). Nach Dumas enthält das sogenannte Knistersalz, wie man es in Wieliczka, Hallstadt ꝛc. findet, Wasserstoffgas, und das Freiwerden desselben verursacht das beim Auflösen dieses Salzes im Wasser bemerkbare Knistern. In Flußspathen fand Nicol Luft und zugleich eine tropfbare Flüssigkeit eingeschlossen, die im Freien Flußspathkrystalle absetzte; mit Schwerspath erfolgte dasselbe (Zeitschr. 5. 107); die in Bläschen von Kochsalzkrystallen enthaltene Flüssigkeit liefert aber kein Kochsalz, sondern enthält salzsaure Bittererde. (Zeitschr. 7. 238.)

159. Krystalle können durch ihre mathematischen und physikalischen Eigenschaften ein Gegenstand der Betrachtung werden. Zu ersteren gehört die Form und Struktur, zu letzteren Härte, Glanz ꝛc. der Flächen, Kanten oder Ecken. Die Form des Krystalls heißt seine Krystallgestalt. Man sieht bei der Betrachtung einer solchen nicht auf ihre Größe, und macht daher zwischen zwei Gestalten keinen Unterschied, sobald sie in geometrischem Sinne einander ähnlich sind. Eine Krystallgestalt wird durch die sie begrenzenden Flächen, welche Krystallflächen heißen, bestimmt, und nach der Anzahl, Figur und Lage dieser Flächen benannt. Man betrachtet letztere als Ebenen, wenn sie auch dem Begriffe einer Ebene nicht völlig entsprechen, und setzt die Abweichungen von den Eigenschaften einer Ebene auf Rechnung zufälliger Störungen beim Bildungsprozesse. Dasselbe gilt von den Kanten und Ecken, wovon jene als gerade Linien, diese als Körperwinkel angesehen werden, wiewohl sie in der Regel nur bei kleinen, selten bei größeren Krystallen genau von dieser Art sind. Jeder Krystallgestalt liegt Symmetrie zum Grunde, obgleich dieselbe in den meisten Fällen nicht beim ersten Blicke erkannt wird. Denn nur die Winkel, welche die Krystallflächen mit einander machen, erscheinen stets constant und an eine feste Regel gebunden, die Flächen selbst sind meistens theilweise vergrößert oder verkleinert, und man muß sie, um die Symmetrie des Krystalles wahrzunehmen, erst auf gleiche Größe reduciren, indem man in Gedanken den Krystall durch Schnitte, die seinen Flächen parallel gehen, oder auch durch Erweiterung seiner Begrenzung ohne Störung des Parallelismus der Flächen, auf eine symmetrische Form bringt. Die Symmetrie der Krystallgestalt äußert sich durch Uebereinstimmung der Lage der Flächen gegen ein System gewisser geraden Linien, die man Axen nennt; diese schneiden sich in einem Puncte, dem Mittelpuncte der Krystallgestalt, und endigen an Hauptpuncten der letzteren (Ecken, Mittelpuncte der Kanten oder Flächen). Bietet die Krystallgestalt, nach jeder der Axen betrachtet,

nicht dieselbe Anordnung der Flächen dar, so wird eine Axe als Hauptaxe gewählt. Schneidet eine Ebene, senkrecht gegen eine Axe gelegt, die Gestalt in einer symmetrischen Figur, so gibt man dieser Axe vor den übrigen den Vorzug. Es gibt Gestalten, die mehrere Hauptaxen zulassen, sie heißen vielaxige, im Gegensatze mit den einaxigen, woran sich bloß Eine Hauptaxe vorfindet.

So sind z. B. in einem Hexaeder (Würfel) die durch zwei gegenüberstehende Ecken gehenden Axen anderer Art, als die durch zwei gegenüberstehende Kantenmittelpuncte gehenden, und diese wieder von anderer Art, als die durch Flächenmittelpuncte gezogenen Von ersteren hat diese Krystallgestalt vier, von den zweiten sechs, von den letzteren drei. Das Hexaeder ist demnach eine vielaxige Gestalt.

160. Einige Krystallgestalten sind von gleichartigen und gleichliegenden Flächen begrenzt. Diese heißen einfache Gestalten; sie stimmen mehr oder weniger mit den symmetrischen Körpern der Geometrie überein, und alle ihre Flächen gehören zu einer einzigen geometrischen Gestalt. Andere Gestalten haben ungleichartige oder ungleichliegende Flächen zur Begrenzung, es lassen sich daran mehrere Gruppen von Flächen unterscheiden, deren jede eine für sich bestehende einfache Gestalt bestimmt, die zum Vorschein kommt, wenn man die in dieser Gruppe enthaltenen Flächen bis zur wechselseitigen Durchschneidung erweitert. Eine solche Krystallgestalt ist daher der Raum, der mehreren auf dieselben Axen sich beziehenden einfachen Gestalten gemeinschaftlich angehört, die sich in ihm wechselsweise durchdringen. Man nennt sie eine zusammengesetzte Gestalt oder Combination. Von den Combinationen sind bloße Aggregate von Krystallen wohl zu unterscheiden, die durch Zusammenwachsen zweier oder mehrerer Flächen entstehen, und oft sogar regelmäßig oder symmetrisch aussehen, häufig mit Natur- oder Kunstgegenständen die größte Aehnlichkeit haben, und auch nach solchen benannt werden.

Das Hexaeder, das Octaeder der Geometrie sind einfache Gestalten; die Gestalt Fig. 42 aber ist eine Combination des Hexaeders und Octaeders. Man kann sie eben so gut als ein Hexaeder betrachten, dem durch Ebenen, welche die Lage der Octaederflächen haben, wie auch als ein Octaeder, dem durch Ebenen, welche die Lage der Hexaderflächen haben, die Ecken weggeschnitten sind. Sie ist der Raum, der einem Hexaeder und Octaeder, die denselben Mittelpunct haben, und wobei die Ecken der einen Gestalt den Mittelpuncten der Flächen der andern entsprechen, gemeinschaftlich angehört. Der Begriff der Combination der Krystallformen wurde zuerst von Mohs, dem Gründer der wissenschaftlichen Mineralogie, aufgestellt.

Als blosse Aggregate von Krystallen sind zu betrachten die baumartigen, staudenartigen, haarförmigen, zähnigen, drahtförmigen, gestrickten Gestalten, die Bleche und Blättchen, Kugeln, Nieren, Trauben 2c., wie sie uns viele Körper zeigen. Oft sind die einzelnen Individuen, aus denen ein solches Aggregat besteht, zu klein, als daß sie mit freiem Auge wahrgenommen werden könnten; nicht selten reicht auch das bewaffnete Auge nicht aus, und man kann nur aus dem gleichzeitigen Vorkommen ähnlicher Stücke mit deutlicherer Zusammensetzung, oder aus dem successiven Kleinerwerden der Individuen in demselben Stücke

auf die Art ihrer Zusammensetzung schließen. Kein Wunder, daß solche Körper oft weder Regelmäßigkeit, noch Symmetrie zeigen, und doch liegen der Bildung ihrer Zusammensetzungsstücke dieselben Gesetze zum Grunde, unter deren Herrschaft die schönsten Krystallgestalten entstehen.

161. Daß sich alle zusammengesetzten Gestalten, sie mögen nun Combinationen oder regellose Zusammensetzungen seyn, auf einfache zurückführen lassen, ist klar; es gibt aber selbst unter den einfachen Gestalten einen solchen Zusammenhang, daß man alle solche aus einer geringen Anzahl derselben durch ein bestimmtes Verfahren entstehen lassen, d. h. **ableiten** kann. Dazu gibt uns die Natur selbst den Fingerzeig, indem sie manche Gestalten mit einander combinirt hervorbringt, andere aber nicht, und so andeutet, es herrsche zwischen ersteren eine besondere Relation, die zwischen letzteren fehlt. Man nennt die Gestalt, aus der man andere ableitet, die aber selbst von keiner anderen abgleitet wird, die **Grundgestalt**. Die Art der Ableitung darf nicht willkürlich, sondern muß von der Natur selbst durch die in ihr vorkommenden Combinationen an die Hand gegeben seyn. Der Inbegriff aller aus einer Grundgestalt von bestimmten Abmessungen (wenn selbe hierin, abgesehen von der Größe, Verschiedenheiten zuläßt) abgeleiteten Gestalten macht eine **Krystallreihe** aus, und der Inbegriff sämmtlicher Krystallreihen, welche aus gleichartigen, d. h. nur in den Abmessungen verschiedenen Grundgestalten entspringen, heißt ein **Krystallsystem**. Zur Grundgestalt wählt man stets die einfachste und zur Ableitung der übrigen Gestalten schicklichste einer Krystallreihe. In sofern man die Abmessungen der Grundgestalt unbestimmt läßt, betrachtet man sie als die Grundlage des Krystallsystems, wozu sie gehört, und benennt dieses nach ihr.

In Betreff der Grundgestalten und der davon herrührenden Krystallsysteme weichen die einzelnen Krystallographen von einander ab, wahrscheinlich, weil manche die Ableitung für etwas von aller Erfahrung Unabhängiges, durch bloße Begriffe zu Erörterndes ansehen. **Mohs**, der unseres Erachtens der Natur am getreuesten bleibt, nimmt sieben Grundgestalten an, woraus auch eben so viele Krystallsysteme hervorgehen: 1) das Hexaeder; 2) das Rhomboeder; 3) die gleichkantige vierseitige Pyramide; 4) das Orthotyp; 5) das Hemiorthotyp; 6) das Hemianorthotyp; 7) das Anorthotyp. Das Rhomboeder ist ein gleichseitiges schiefwinkliges Parallelepiped; die fünf letzten Gestalten sind sämmtlich vierseitige Pyamiden. Die Pyramide des Krystallographen unterscheidet sich von jener des Geometers; erstere entsteht aus letzterer, wenn dieser eine gleichgestaltete in entgegengesetzter Lage so angefügt wird, daß die Grundflächen, welche hier stets symmetrische Figuren sind, zu einer einzigen Fläche, die Basis der krystallographischen Pyramide genannt, zusammenstoßen, und die Verbindungslinie der Spitzen (die Axe der Pyramide) in dem Mittelpuncte der Basis, wie auch der Gestalt selbst, halbirt ist. Die gleichkantige, vierseitige Pyramide hat zur Basis ein Quadrat, und die Axe steht auf ihr senkrecht; das Orthotyp ist eine Pyramide mit rhombischer, d. h. gleichseitiger, viereckiger, schiefwinkliger Basis und darauf senkrechter Axe; bei dem Hemiorthotyp steht die Axe auf der Ebene der rhombischen Basis schief, aber doch auf einer der Diagonalen der Basis senkrecht; bei dem Hemianorthotyp macht die Axe mit jeder der Diagonalen der

rhombischen Basis schiefe Winkel; das Anorthotyp endlich erscheint, wie man es auch immer aufstellen mag, als Pyramide, die ein ungleichseitiges Parallelogramm zur Basis hat. Die aus den angeführten Grundgestalten hervorgehenden Krystallsysteme heißen der Ordnung nach: 1) das tessularische; 2) das rhomboedrische; 3) das pyramidale; 4) das orthotype; 5) das hemiorthotype; 6) das hemianorthotype; 7) das anorthotype. Das erste dieser Systeme umfaßt alle vielaxigen Gestalten, die übrigen alle einaxigen. Weiß und Naumann nehmen 6 Krystallsysteme an. Sie heißen nach Ersterem: 1) das reguläre; 2) das zwei- und einaxige; 3) das drei- und einaxige; 4) das ein- und einaxige; 5) das zwei- und eingliedrige und 6) das ein- und eingliedrige. Dieselben Systeme haben bei Naumann folgende Benennungen: 1) das isometrische; 2) das monodimetrische; 3) das monotrimetrische; 4) das anisometrische; 5) das monoklinometrische und 6) das triklinometrische. Die ersten drei Systeme Weiß's und Naumann's fallen mit den ersten von Mohs völlig zusammen.

162. Mit der äußeren, regelmäßigen oder symmetrischen Gestalt der Krystalle steht auch eine große Regelmäßigkeit der Structur in Verbindung. Es lassen sich nämlich die meisten krystallisirten Körper, selbst wenn sie nur Bruchstücke ganzer Krystalle sind, nach gewissen Richtungen so theilen (spalten), daß man lauter ebene Theilungsflächen bekommt; man nennt diese Richtungen den Blätterdurchgang. Solcher Durchgänge gibt es in demselben Körper wenigstens drei, oft mehrere, doch läßt sich nicht nach jedem die Theilung mit gleicher Leichtigkeit vornehmen; einige Körper gestatten dieses überhaupt nur sehr schwer, und man erkennt den Blätterdurchgang nur aus feinen Streifen oder Sprüngen, manchmal sogar nur durch ein besonderes Verhalten gegen das Licht. Wenn man einen Krystall nach verschiedenen Blätterdurchgängen spaltet, erhält man auch verschiedene Theilungsgestalten; verrichtet man aber die Theilung nach den deutlichsten Durchgängen, bis von den äußeren Flächen nichts mehr übrig ist, so erhält man eine symmetrische, oft sogar regelmäßige Gestalt, welche Haüy, der den Werth und die Eigenthümlichkeiten der Theilungsverhältnisse überhaupt zuerst kennen lehrte, Kerngestalt (forme primitive) nennt, während er die Gestalt des ganzen Krystalles abgeleitete Gestalt (forme secondaire) heißt. Fährt man fort, den Kern sowohl, als die abgenommenen Blätter weiter zu spalten, so erhält man lauter kleine, symmetrische Körperchen, die sich an Gestalt durchaus gleichen. Haüy nennt sie Ergänzungstheilchen (molécules intégrantes). Man braucht sich nicht mit der wirklichen Theilung zu befassen, sondern kann die Gestalt solcher Körperchen aus dem Kerne und der Richtung der Blätterdurchgänge erkennen. So z. B. ist es leicht einzusehen, daß bei einem Hexaeder, einem Rhomboidaldodekaeder und einem sechsseitigen Prisma, deren Blätterdurchgänge mit den Flächen des Kernes gleichlaufend sind, die Ergänzungstheilchen die Gestalt eines Parallelepipedums, eines Tetraeders und eines dreiseitigen Prisma's haben müssen.

Als Beispiel einer hieher gehörigen Untersuchung mag die Spaltung eines Kalkspathes dienen, der in der Form einer sechsseitigen Säule erscheint,

wie Fig. 43 zeigt. Setzt man in ab parallel mit AB ein Messer an, und drückt darauf, so springt ein Stück abcd weg. Dasselbe geschieht, wenn man das Messer parallel mit DF oder CE ansetzt, nicht aber in Richtungen, die mit AC, BD oder EF gleichlaufend sind. Unten wird gerade das Gegentheil Statt finden; da wird man parallel mit HK, LM, IG mit Erfolg die Spaltung versuchen, nicht aber in Richtungen, die mit GH, KM, LI gleichlaufend sind. Wenn man so mit der Spaltung fortfährt, kommt man auf eine rhomboedrische Kerngestalt. Daß eine solche Spaltung nicht bei jedem Krystalle ausführbar sey, kann man wohl leicht begreifen; sie ist auch zur Kenntniß der Kerngestalt nicht unumgänglich nöthig; denn wenn man an irgend einem Krystalle die Richtung der Spaltungsebenen durch Messung bestimmt, so kann man mittelst Rechnung die Gestalt des Kernes finden, der übrig bliebe, wenn die Blätter nach diesen Richtungen weggenommen würden.

Man kennt bis jetzt sechs Kerngestalten, nämlich: 1) das Tetraeder; 2) das Parallelepiped; 3) das Octaeder (worunter Haüy nebst dem regelmäßigen, auch noch jede vierseitige Pyramide versteht); 4) das regelmäßige sechsseitige Prisma; 5) das Dodekaeder mit vierseitigen Flächen; 6) das Triangulardodekaeder. Ueber die Anzahl und Gestalt der Ergänzungstheilchen ist man nicht durchaus einerlei Meinung. Einige nehmen bloß sphärische Ergänzungstheilchen an, andere polyedrische. Haüy betrachtet das Parallelepiped, das Tetraeder und die dreiseitige Säule als solche, weil diese Körper von der möglichst geringsten Anzahl von Flächen begrenzt sind, durch welche überhaupt ein Raum eingeschlossen werden kann, und zur Bildung aller Formen hinreichen. Aus diesen Theilchen läßt er die Krystalle dadurch entstehen, daß sie sich reihenweise an einander legen. Die große Verschiedenheit der Krystallgestalten bei einer so geringen Anzahl von verschiedenen Elementen, aus denen sie bestehen, leitet er daraus her, daß die Schichten stufenweise abnehmen, so wie sie sich von der Kerngestalt entfernen, und zwar entweder bloß an den Ecken oder an den Kanten, oder in einer Zwischenlage. Man kann sich dieses am besten durch Modelle versinnlichen. (Seeber in Gilb. Ann. 76. 229. Untersuchungen über die Formen der unorganischen Natur, von Hausmann. Gött. 1822.)

163. Krystallisirte Körper weichen oft in ihren physischen Eigenschaften von unkrystallisirten Stoffen derselben Natur sehr stark ab, wovon der Grund darin liegt, daß bei ersteren die Cohärenzkraft frei wirken kann, während sie bei letzteren durch äußere Umstände beschränkt wird. Die meisten Körper werden durch Krystallisiren spröde und hart, ja selbst dadurch geeignet, chemischen Kräften besser zu widerstehen; undurchsichtige Stoffe werden durch Krystallisiren durchsichtig oder doch durchscheinend und umgekehrt; die Farbe der Stoffe ändert sich beim Uebergange in die Krystallform.

Kohlenstoff und Thonerde, die im unkrystallisirten Zustande undurchsichtig sind und keine besondere Härte besitzen, werden durch Krystallisiren durchsichtig und so hart, daß sie alle übrigen zu ritzen im Stande sind (Diamant und Saphir). Schwefel, der, bis 160° C. erhitzt, in kaltes Wasser gegossen wird, und nicht krystallisiren kann, bleibt weich und durchscheinend. Krystallisirtes Glas ist milchweiß, undurchsichtig und hart wie Feuerstein, während das nicht krystallisirte (amorphe) Durchsichtigkeit besitzt. Phosphor wird durch Krystallisiren durchsichtig. Auf dem veränderten Verhalten krystallinischer Stoffe gegen chemische Einwirkung beruht die Bereitung des Metallatlasses (moiré métallique), das Damasciren des Stahles, die Eigenschaft des Meteorstahles durch

ein Aetzmittel strahlige Zeichnungen anzunehmen. Beim Schmelzen des Eises bleiben die zuerst entstandenen regelmäßigen Eisnadeln am längsten fest.

164. Körper von derselben materiellen Beschaffenheit krystallisiren nicht immer in derselben Gestalt. Meistens gehören ihre Krystallformen in dasselbe Krystallsystem und zu derselben Krystallreihe; aber es gibt auch viele Fälle, wo derselbe Stoff in Formen krystallisirt, die sich nicht von derselben Grundgestalt ableiten lassen. Solche Stoffe heißen **dimorphe**. Im Allgemeinen kann man es als Regel aufstellen, daß die Krystallformen nicht von der materiellen Beschaffenheit, sondern von der Anzahl und Verbindungsweise der Atome abhängen. Daher können ganz heterogene Stoffe in derselben Krystallform erscheinen, wenn ihre Atome in gleicher Anzahl und auf gleiche Weise mit einander verbunden vorkommen. Man nennt solche Stoffe **isomorphe**.

Kalkspath (kohlensaurer Kalk) krystallisirt in Rhomboedern, sechsseitigen Pyramiden, sechsseitigen Säulen, also in Gestalten, die sich von einem Rhomboeder ableiten lassen, jedoch auch als Arragonit in Prismen von solchen Flächenwinkeln, daß keine Ableitung derselben aus einer rhomboedrischen Grundgestalt möglich ist. Erhitzt man letzteren, so zerspringt der Krystall in rhomboedrische Formen. Schwefel krystallisirt verschieden, je nachdem er aus einer geschmolzenen Masse oder aus einer Auflösung in Schwefelkohlenstoff oder Chlorschwefel anschießt. Eine große Rolle spielt bei der Krystallform der Wassergehalt, weil er die Anzahl der sich verbindenden Atome abändert. So krystallisirt Zinkvitriol wie Kupfervitriol, wenn man ihm 1/6 des letzteren zusetzt, und dadurch den Wassergehalt beider einander gleich macht; Phosphorsäure gibt mit jeder Basis dieselben Krystalle, und es läßt sich eine Basis eines phosphorsauren Salzes durch eine andere ohne Störung der Krystallgestalt ersetzen. Mancher Stoff krystallisirt bloß darum bei verschiedenen Temperaturen verschieden, weil er eine verschiedene Wassermenge in seine Mischung aufnimmt, und sich die Anzahl der sich verbindenden Atome nach der Temperatur richtet; mancher Stoff hat darum eine so große Fähigkeit, andern in der geringsten Menge beigemischt, seine Krystallgestalt aufzudringen, weil er schon in einer geringen Quantität eine mit seiner natürlichen Mischung gleiche Atomenzahl hervorbringt. — Von einer Aenderung der Verbindungsweise der Atome hängen auch jene Umbildungen ab, die manche Krystalle erleiden, ohne vorher in den flüssigen Zustand überzugehen, und welche deutlich beweisen, daß in einigen Fällen schon die an der Elasticität der Körper erkennbare Verschiebbarkeit der Theile zur Krystallisirung hinreiche, besonders wenn sie durch eine Temperaturerhöhung begünstigt wird. Kocht man z. B. einen Kupfer- oder Zinkvitriolkrystall langsam in Alkohol, so wird er matt, behält jedoch seine Form bei; zerbricht man ihn aber, so zeigt er im Innern unzählige, neu gebildete Krystalle, die von der Form des Ganzen abweichen. Krystalle von schwefelsauren Salzen, die bei mittlerer Luftwärme entstanden sind, zeigen, wenn sie einige Zeit dem Sonnenlichte ausgesetzt waren, nach dem Zerbrechen, im Innern neugebildete Krystalle. Siehe **Mitscherlich** in Pogg. Ann. 11. 323; 12. 137; 17. 385. **Haidinger** in Pogg. Ann. 6. 191; 11. 173, 366. Vergleiche hiemit Schweigg. J. 49. 245; 51. 163; 54. 205, 358.

165. Die vorher erwähnten Gesetze der Krystallisation berechtigen zur Annahme, daß sich die Molekel nach verschiedenen Richtungen

verschieden anziehen, und daß es Lagen derselben gibt, in welchen sie die größte Anziehung auf einander ausüben; denn nur auf diese Art wird es begreiflich, daß die Molekel, wenn sie sich selbst überlassen sind, sich gerade auf eine bestimmte Weise neben einander lagern, d. h. einen Krystall bilden. Es ist klar, daß bei mehreren solchen Lagen ein Maximum der Anziehung eintreten kann, und daß daher bei derselben Beschaffenheit der Molekel doch verschiedene Krystallformen möglich sind, ja es ist nicht schwer zu begreifen, daß zwei Stoffe sich gegenseitig, ohne die Krystallgestalt zu stören, vertreten können; denn es wird dazu nur erfordert, daß ihre Molekel gleich gestaltet seyen, oder daß in ähnlichen Lagen derselben ein Maximum der Anziehung Statt finde. Dieses Verhalten deutet aber wieder darauf hin, daß die Molekel polyedrische Gestalten besitzen. Allein dieß hindert nicht, daß die Atome, woraus die Molekel bestehen, keine polyedrische, sondern z. B. eine sphärische Gestalt haben, denn durch Gruppirung von Kugeln lassen sich offenbar polyedrische Formen erhalten, und es zeigt sich dabei auch der Einfluß der Anzahl der Atome auf die Gestalt der Molekel.

Ueber die Krystallformen siehe die Krystallisation in geometrischer und physikalischer Hinsicht von Brochant de Villiers. Heidelberg, 1820. Mohs's Naturgeschichte des Mineralreichs. Wien, 1836. Grundriß der Krystallographie von Naumann. Leipzig, 1830. Geschichte der Krystallkunde von Marx. Carlsruhe, 1825. Elemente der Krystallographie von G. Rose. Berlin, 1833.

B. Art der Verbindung der Theile fester Körper.

166. Die Theile fester Körper müssen sich in stabilem Gleichgewichte befinden, weil nur durch eine bestimmte Kraft eine Aenderung ihrer Lage bewirkt wird. Diese Aenderung selbst ist entweder eine bleibende oder eine nach Wegnahme der sie bewirkenden Kraft wieder verschwindende, gerade so wie ein stabiler, schwerer Körper durch eine seiner Stabilität entgegenwirkende Kraft wieder in eine andere stabile Lage gebracht wird, oder nur seine alte Lage verläßt, so lange die Wirkung jener Kraft dauert, hierauf aber sie wieder einnimmt. Die verschiedene Größe der Stabilität der Molekel unter einander und die Anzahl ihrer möglichen stabilen Lagen begründet verschiedene Modificationen des festen Zustandes.

167. In soferne die Lage der Theile eines festen Körpers durch eine äußere Kraft geändert wird, aber wieder zurückkehrt, sobald diese Kraft zu wirken aufhört, heißt ein Körper elastisch. Es liegt im Begriffe der Stabilität, daß jeder feste Körper elastisch, ja für Kräfte, die eine gewisse Grenze nicht überschreiten, sogar vollkommen elastisch sey, d. h. nach Wegnahme der störenden Kraft seine vorige Gestalt und Dichte vollkommen wieder annehme; doch wird die Größe der größten Kraft, für welche er noch vollkommen elastisch ist, für verschiedene Körper, ja selbst für denselben Körper unter verschiedenen Umständen verschieden ausfallen, gleichwie die Stabilität verschiedener oder desselben schweren Körpers in verschiedenen Lagen eine verschiedene

Größe hat. Die größte jener Kräfte, für welche ein Körper noch vollkommen elastisch ist, bestimmt die **Größe** der Elasticität, und die Größe der Dehnung, welche er durch sie erleidet, die **Elasticitätsgrenze**. Die Größe der Drehung kann man, wie später zu erwähnende Versuche lehren, innerhalb der Elasticitätsgrenze ohne merklichen Fehler der dehnenden Kraft proportional setzen. Der Quotient, den man erhält, wenn man diese durch jene dividirt, ist daher für jeden einzelnen Körper eine unveränderliche Größe und heißt das **Elasticitätsmaß** (Elasticitäts-Modulus). Bei einem durchaus homogenen Körper ist das Elasticitätsmaß nach allen Richtungen gleich groß; bei krystallisirten ist dieses nicht allgemein, sondern nur für vielaxige Krystalle der Fall. (Mehr hierüber in der Akustik.) Sowohl die Größe, als die Grenze der Elasticität ist bei verschiedenen Körpern verschieden, und beide ändern sich oft bei demselben Körper. So haben z. B. gehärteter Stahl, geschlagenes Messing, Elfenbein, Federharz, Fischbein rc. eine bedeutende Elasticität; Stahl hat eine größere Elasticitätsgrenze als Eisen; frisches Holz eine größere als trockenes, geschmiedete Metalle eine größere als gegossene, Wärme und schnelles Abkühlen nach starker Erhitzung verändern die Elasticitätsgrenze. Auch die Gestalt der Körper hat hierauf Einfluß, wie man am Glase sieht, das in dünnen Fäden eine größere Elasticitätsgrenze hat, als in Klumpen. Der innere Grund dieser Verschiedenheiten liegt höchst wahrscheinlich wieder in der verschiedenen Gestalt der Molekel und in ihrer gegenseitigen Entfernung von einander.

Nach **Lagerhjelm** erleiden alle Arten Eisen, sie mögen hart, weich oder brüchig seyn, bei gleichen Dimensionen durch gleiche Kräfte eine gleiche Dehnung und sind gleich elastisch; aber ihre Elasticitätsgrenze ist nicht dieselbe, sondern bei hartem Eisen größer als bei weichem, bei Stahl größer als bei Eisen. Durch Strecken wird die Elasticitätsgrenze erweitert, aber die Elasticitätsgröße unverändert gelassen. Folgende Zahlen verhalten sich wie die Elasticitätsmaße der beigesetzten Stoffe: für Stangeneisen 1070, für Stahl 1085, für Gußeisen 658, für Kupfer 686, für gezogenes Messing 522, für gegossenes 325, für Silber 443, für Blei 118, für Glas 368. (**Lagerjhelm's** Versuche über die Dichtigkeit, Elasticität, Schmiedbarkeit und Stärke des Eisens. Nürnberg, 1829.) **Young**, der den Begriff Elasticitätsmodul zuerst in die Physik einführte (*Lectures on natural phil. Tom. I. p. 137.*), versteht darunter jene Zahl x, die sich zu dem Gewichte p, das durch seinen Druck eine bestimmte Verkürzung eines Körpers hervorbringt, so verhält, wie die Länge l des geänderten Körpers zur Verkürzung c; oder es ist $x = \frac{pl}{c}$ Für $l = 1$ wird $x = \frac{p}{c}$ und in dieser Bedeutung wird das Elasticitätsmaß auch hier genommen.

168. Das Verhältniß der Größe der Dehnung oder Compression, welche ein elastischer Körper innerhalb der Elasticitätsgrenze von Kräften erleidet, zu diesen Kräften, zeigen Versuche, wie sie **s'Gravesande** und **Coulomb** rc. angestellt haben. Es wurden zu diesem Zwecke 1) metallene Saiten durch angehängte Gewichte ausgedehnt, und die dadurch entstandenen Verlängerungen gemessen. Solche Stan-

gen wurden freilich auch dünner, besonders an einzelnen schwächeren Stellen, und die Theile mußten einander daselbst näher gekommen seyn, allein nach Cagniard Latour beträgt diese Verminderung der Dicke nur $^{1}/_{2}$ von der Vergrößerung der Länge; 2) Metallfedern zusammengedrückt und ausgedehnt; 3) dünne Stäbe an einem Ende in horizontaler Lage befestiget und am anderen durch Gewichte gebogen; 4) Kugeln von Elfenbein, Kautschuk oder Metall auf eine mit Fett dünn überzogene, ebene Platte von einer bestimmten Höhe im freien Falle herabgelassen, und der beim Zusammendrücken entstandene, kreisrunde Fleck auf der Platte gemessen; 5) lange Drähte vertical am oberen Ende befestiget, am unteren durch ein Gewicht gespannt, das mit einem horizontalen Zuge versehen war, durch dessen Bewegung der Draht selbst um einen bestimmten Winkel gedreht werden konnte. — Diese Versuche geben das merkwürdige Resultat, daß innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität alle räumlichen Veränderungen elastischer Körper den Kräften proportionirt sind, durch die sie hervorgebracht werden. Da aber diese Kräfte dem Widerstande des elastischen Körpers gleich sind; so kann man auch sagen: Die räumlichen Veränderungen elastischer Körper sind dem Widerstande proportionirt, den die Elasticität leistet.

169. Wird die Gestalt eines festen Körpers über die Elasticitätsgrenze hinaus durch eine Kraft geändert, so treten entweder seine Theile in ein neues stabiles Gleichgewicht, und der Körper ist in diesem abermals elastisch, hat aber meistens eine andere Größe und Grenze der Elasticität, oder es erfolgt eine Trennung desselben. Im ersten Falle heißt er dehnbar, im zweiten spröde; erleidet ein Körper schon durch sehr geringe Kräfte eine bleibende Formveränderung, so heißt er weich; braucht er dazu eine sehr große Kraft, so nennt man ihn hart. Hämmerbarkeit, Streckbarkeit ɩc. sind besondere Formen der Dehnbarkeit. Die Größe der Dehnbarkeit wird durch die Verlängerung bestimmt, welche ein Körper, ohne zu zerreißen, verträgt. Sie ist von der Natur der Körper und von deren Temperatur abhängig, und überhaupt desto größer, je höher letztere ist. Sprödigkeit ist als ein sehr geringer Grad von Dehnbarkeit anzusehen, und wird besonders durch schnelles Abkühlen nach vorhergegangener Erhitzung erzeugt, wie besonders das Glas zeigt, das, um nicht spröde zu seyn, stets eine sehr langsame Abkühlung fordert. (Bologneser-Fläschchen, Glastropfen, Glaswürmer.) Der Grund dieser Eigenschaft fester Körper liegt wieder ohne Zweifel in der polyedrischen Gestalt ihrer Molekel und in deren gegenseitiger Entfernung. Gleichwie ein schweres Polyeder mehrere Lagen des stabilen Gleichgewichtes hat, deren immer eine durch eine labile Lage in die andere übergeht; so können auch polyedrische, durch anziehende Kräfte zu einem Körper verbundene Molekel mehrere stabile Gleichgewichtslagen haben und aus einer in die andere übergehen, mithin dehnbar seyn. Je mehr Flächen die Molekel begrenzen und je weniger diese von einander abstehen, desto näher liegen die Lagen des stabilen Gleichgewichtes einander und desto dehnbarer muß der Körper

seyn. Je kleiner die Stabilität und je näher die Stabilitätslagen einander sind, desto weicher wird ein Stoff ausfallen.

Nach Lagerhjelm ist für Eisen das Product aus der Elasticitätsgrenze in die Quadratwurzel der Dehnbarkeitsgrenze eine constante Größe. — Nach der Größe der Hämmerbarkeit folgen die Metalle in folgender Ordnung auf einander, vom hämmerbarsten angefangen: Blei, Zinn, Gold, Zink, Silber, Kupfer, Platin, Eisen. Nach der Größe des Widerstandes beim Ausziehen zu Draht folgen die Metalle nach Karmarsch (Jahrb. des k. k. polyt. Inst. 17. 323) so auf einander: Stahl hart gezogen, Eisen, Messing, Gold geglüht, Stahl geglüht, Kupfer hart gezogen, 12löth. Silber geglüht, 14löth. Silber geglüht, Messing, Eisen, Platin, Kupfer, feines Silber, Zink, feines Gold, Zinn, Blei. Nach der Leichtigkeit, mit der sie sich zu Blech walzen lassen, stehen sie in folgender Reihe: Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Platin, Eisen.

170. Werden die Theile eines Körpers über die Grenzen seiner Dehnbarkeit von einander entfernt, so erfolgt eine Trennung derselben, weil sie die Grenzen der Wirkungssphäre der anziehenden Kraft überschreiten, und der Körper wird zerrissen, zerdrückt, zerbrochen oder endlich abgedreht. Beim Zerreißen wird der Körper an einem Ende vertical eingespannt und am anderen Ende so lange mit Gewichten belastet, bis er reißt. Dieses Gewicht, um so viel vermehrt, als das abgerissene Stück selbst wiegt, ist zwar etwas größer als der Zusammenhang der getrennten Theile, kann aber für die Größe des Zusammenhanges angenommen werden, wenn man die dem Körper angehängte Last nur um kleine Unterschiede wachsen ließ. Man kann das zum Zerreißen erforderliche Gewicht anfänglich beiläufig bestimmen, und durch einen zweiten genaueren Versuch verbessern. Beim Zerdrücken setzt man den Körper auf eine feste Unterlage und belastet ihn von oben so lange, bis die Trennung erfolgt. Beim Zerbrechen wird er in horizontaler Lage an einem oder an beiden Enden befestiget und außer der unterstützten Stelle belastet, bis der Zweck erreicht ist. Beim Zerdrehen befestiget man ihn ebenfalls an einem Ende und bringt am anderen die Kraft an, welche nach der Tangente eines Kreises wirkt und ihn zu drehen sucht. Dem Zerreißen müssen Stricke, Ketten rc., dem Zerdrücken Säulen, verticale Balken an Gebäuden, Brückenpfeiler, dem Zerbrechen alle Querbalken, dem Zerdrehen die Wellbäume an Rädern widerstehen.

171. Die Größe der zum Zerreißen nöthigen Kraft hängt von der Cohärenz der Theile und vom Querschnitte an der Trennungsstelle ab. Sollen daher Zerreißungsversuche auf die relative Größe der Cohärenz der Theile verschiedener Körper zu schließen erlauben, so müssen diese gleiche Querschnitte haben, oder man muß die Resultate durch Rechnung auf gleiche Querschnitte reduciren.

Versuche dieser Art sind von vielen Gelehrten angestellt worden; man beschränkte sich dabei aber vorzüglich auf Metalle, Holz und Stricke, weil man sich von diesen die größte Anwendbarkeit versprechen konnte. Man fand, daß die Metalle im Allgemeinen eine größere Festigkeit haben, als die Hölzer, daß aber selbst unter Metallen eine große Verschiedenheit in Bezug auf Festigkeit Statt findet. Unter übrigens gleichen Um-

ständen ergibt sich aus Muschenbroek's Versuchen folgende Ordnung der Metalle vom festesten angefangen: Eisen, Silber, Kupfer, Gold, Zinn, Wismuth, Zink, Spießglanz, Blei. Gegossene Metalle sind in der Regel schwächer als geschmiedete; warme sind wieder schwächer als kalte. Bei den meisten Metallen hat schnelles Abkühlen eine große Veränderung der Festigkeit zur Folge, doch ist diese Veränderung nicht für alle von derselben Art. So wird z. B. Eisen dadurch stärker, Kupfer schwächer. Mäßiges Hämmern stärkt, zu heftiges schwächt den Zusammenhang, letzteres wahrscheinlich deßhalb, weil es die Sprödigkeit so sehr vermehrt, daß der geringste, ungleich angebrachte Schlag kleine Risse erzeugt. Die chemische Mischung ändert die Festigkeit bedeutend, und es kommt dabei nicht bloß auf die Verschiedenheit der in der Mischung enthaltenen Stoffe an, sondern auch auf das Verhältniß ihrer Mengen. Dieses bestätigen die Compositionen zu Stückgut, Glockenspeise, Tomback, Semilor. Oft reicht ein sehr kleiner Zusatz eines Stoffes hin, die Festigkeit ungemein zu verstärken. So wird Eisen durch Kohlenstoff zu Stahl, und gewöhnlicher Stahl nach Faraday durch $1/5$ pCt. Silber, oder noch besser durch $1/2$ pCt. Rhodium ungemein verbessert. (Gilb. Ann. 69. 179) Holz ist schwächer als Metall; unter den gewöhnlichen Holzarten haben das Buchen- und Eichenholz die meiste Festigkeit; alle weichen Holzarten sind viel schwächer als die harten. Im Allgemeinen folgen die Hölzer nach ihrer Festigkeit so auf einander: Buche, Esche, Linde, Ulme, Tanne, Fichte. Aber nicht jedes Holz desselben Namens hat auch dieselbe Stärke: denn anders ist die Festigkeit an Bäumen, die in Gebirgsgegenden wachsen, anders an jenen, die im flachen Lande fortkommen, ja an demselben Baume haben Stamm, Aeste und Wurzeln eine verschiedene Festigkeit. Um die Festigkeit der Stricke zu erfahren, nahm man selbe von verschiedener Dicke, aus einer verschiedenen Anzahl von Litzen und Fäden bestehend, von verschiedenem Materiale gemacht, mehr oder weniger gedreht Den Versuchen gemäß sind Stricke von derselben Dicke desto stärker, je feiner der Flachs oder Hanf war, aus dem sie bestehen, und je weniger sie zusammengedreht sind. Durch das Zusammendrehen kommen die Fäden schon in einen gespannten Zustand, den man so ansehen kann, als trügen sie schon ein Gewicht. Deßhalb sollen auch Stricke nicht mehr gedreht werden, als bis die Fäden dadurch $1/6$ ihrer Länge verloren haben. Man hat, um den durch das Zusammendrehen entstehenden Nachtheil zu beseitigen, schlauchförmig gewebte Stricke empfohlen. Nasse Hanfseile und Baumwollgarne sind stärker als trockene; ungetheerte stärker als getheerte. Geflochtene Schnüre sind stärker als gedrehte, ungebleichte stärker als gebleichte, seidene stärker als leinene von derselben Dicke; eine Schnur von Menschenhaar ist stärker, als eine eben so dicke von Pferdehaaren. — Nach Gerstner's Versuchen, die mit Clavierdrähten, Stahlfedern und Blechstreifen angestellt wurden, herrscht zwischen der dehnenden Kraft p und der dadurch bewirkten Dehnung e folgende Relation: $p = e(A - Be)$, wo A und B durch Versuche zu bestimmende Größen sind. Daraus ergibt sich für die größte Dehnung E die Gleichung $E = \frac{A}{2B}$ und für die größte dieser Dehnung entsprechende Belastung $P = 1/2\ AE$. (Gerstner's Mechanik Bd. I. S. 263.)

172. Beim Zerdrücken fallen die Resultate der Versuche sehr verschieden aus, je nachdem der Körper lang oder kurz ist. Am reinsten sind sie bei kurzen Körpern, weil diese sich nicht biegen. Auch hier ändert sich zuerst der Körper durch Einwirkung der drückenden Kraft,

er verkürzt sich und wird dicker; so wie aber die Kraft die rechte Stärke erlangt hat, erfolgt der Bruch entweder dadurch, daß die oberen Theile wie Keile die unteren aus einander treiben, oder dadurch, daß die oberen über die unteren hinabgleiten. Harte, homogene und feinkörnige Steine zerfallen in Blätter oder in verticale Nadeln; einige Steine theilen sich zuerst in verticale Pyramiden, deren Spitzen einander zugekehrt sind, und die keilförmig auf einander wirken, bis sie sich zu Staub zerdrückt haben. Die zum Zerdrücken nöthige Kraft wächst mit dem Querschnitte, und ist bei einerlei Größe desselben desto bedeutender, je kleiner der Umfang dieses Querschnittes ist. Vergrößerung der Höhe vermindert den Widerstand des Körpers.

173. Eine Kraft, die einen Körper zu zerbrechen sucht, entfernt zuerst die an der convexen Seite liegenden Theile, und nähert die an der concaven liegenden; nur gewisse im Innern des Körpers liegende Theile behalten ihre natürliche Lage. Sind die Theile eines Querschnittes so sehr gedehnt, daß sie ohne Trennung nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, oder die verkürzten so sehr einander genähert, daß ohne Zerdrücken keine weitere Annäherung mehr möglich ist; so erfolgt bei der geringsten Vermehrung der Kraft ein Bruch. Dieser zeigt sich bei verschiedenen Körpern auf verschiedene Weise. Beim Glas, bei Steinen und gegossenen Metallen trennen sich alle Theile eines Querschnittes auf einmal; bei Hölzern findet nur an der am meisten convexen oder concaven Seite eine Trennung Statt; bei geschmiedeten Metallen hängen die Theile noch nach dem Bruche an einander, und treten gleichsam in ein neues Gleichgewicht. Uebrigens richtet sich die zum Zerbrechen nöthige Kraft nach den Dimensionen des Körpers; sie wächst, wie die Breite und das Quadrat der Höhe zunimmt und die Länge abnimmt. Hohle Körper sind im Verhältnisse zu ihrer Masse stärker als massive, daher auch hohle Halme, Stängel und Knochen bei wenig Masse viel aushalten, und metallene hohle Säulen eine unglaubliche Stärke haben. (Duhamel in Ersch's und Gruber's Encykl. B. 18. 212.)

174. Wirkt eine Kraft so auf einen Körper, daß sie ihn zu drehen sucht, so werden die Theile außer dem befestigten Ende um einen Winkel gedreht, welcher desto größer ist, je mehr diese Theile vom festen Ende abstehen. Dadurch kommen jene, welche sich in ihrer natürlichen Lage in einer geraden Linie befinden, in eine Schraubenlinie zu liegen, und entfernen sich dabei von einander. Steigt diese Kraft so weit, daß die Theile nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, so erfolgt bei der geringsten Steigerung derselben ein Abdrehen.

175. Den bisher angeführten Erscheinungen analog sind diejenigen, welche man bei getrennten Körpern bemerkt, die an mehreren Puncten mit einander in Berührung gekommen sind. Nimmt man zwei Bleistücke, gibt jedem eine ebene und metallinische Fläche, drückt sie an diesen zusammen; so kann man sie nur mit großer Kraft wieder von einander trennen. Eine Bleiplatte mit einer Zinnplatte oder eine Kupferplatte mit einer Silberplatte durch Glättwalzen gezogen, gibt

ein fast untrennbares Ganzes. Zwei Stücke weiches Eisen oder Platin lassen sich durch Hammerschläge zusammenschweißen. Nach Hermbstädts, Cavendishs und Anderer Versuchen sollen manche Körper schon in einiger Entfernung ein Bestreben zur Vereinigung äußern.

176. Faßt man alles, was die in diesem Kapitel angeführten Thatsachen und Gesetze in Betreff der Wirkungsweise der Molecularanziehung bei festen Körpern lehren, zusammen, so gewinnt man die Ueberzeugung: 1) daß die Molecularanziehung von der Natur der kleinsten Theile, denen sie zukommt, und von ihrer Temperatur abhängt; 2) daß sie wohl in die Entfernung wirkt, aber mit wachsender Distanz der betreffenden Theile sehr schnell abnimmt und bei kaum merklicher Distanz schon als verschwindend klein angesehen werden muß; wegen der ungemeinen Kleinheit der Molekel und ihrer Entfernungen von einander kann es aber deßungeachtet seyn, daß sich die Kraft eines Theilchens selbst ohne merkliche Abnahme der Intensität auf sehr viele andere erstreckt.

Diese wenigen Sätze machen die Basis der von Poisson und Cauchy mit so gutem Erfolg angestellten, mathematischen Untersuchungen über Gleichgewicht und Bewegung der Körper aus. *Mémoires de l'Acad. T. 8.* Siehe Link in Gilb. Ann. 25. 133; 47. 1; in Pogg. Ann. 8. 25; Mitis in Zeitsch. 3 1; 4. 129. Duleau's theor. pract. Versuche über den Widerstand des geschmiedeten Eisens. Aus dem Französ. Leipzig, 1823. Tredgold über die Festigkeit des Gußeisens. Aus dem Engl. Leipzig, 1826. Ampère in Pogg. Ann. 26. 161. Frankenheim, die Lehre von der Cohäsion rc. Breslau, 1835. Von den älteren Werken hierüber sind vorzüglich zu bemerken: *Muschenbroek introd. in cohaerent. corp. firm. Lugd. Bat. 1725. G. s'Gravesande elementa physicae. Leidae, 1742. pag. 367. c. s.*

Fünftes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an tropfbaren Körpern (Hydrostatik).

A. Ueber Flüssigkeiten überhaupt, über tropfbare insbesondere.

177. Das Wesen des flüssigen Zustandes besteht in der absolut leichten (d. h. durch die kleinste denkbare Kraft bewirkbaren) Verschiebbarkeit der Theile nach allen Richtungen. Sie kann offenbar nur in Körpern Statt finden, deren Molekel so weit von einander entfernt sind, daß die Wirkung jedes einzelnen rings um den Mittelpunct seiner Masse von gleicher Stärke ist, und demnach so erfolgt, als wären diese Theilchen sphärisch. Die absolute Verschiebbarkeit der Theile ist die Grundlage aller Untersuchungen über Gleichgewicht und Bewegung flüssiger Körper, und alle mechanischen Erscheinungen solcher Körper sind Folgen dieser Eigenschaft und der auf die kleinsten Theile wirkenden Kräfte.

178. Eine natürliche Folge der absoluten Verschiebbarkeit der

Theile ist, daß sich in einer flüssigen Masse die Wirkung einer Kraft, welche nur nach einer bestimmten Richtung zielt, nach allen Richtungen mit gleicher Stärke fortpflanzt. Man denke sich in einem von allen Seiten geschlossenen Gefäße ABCD (Fig. 44) eine Flüssigkeit, z. B. Wasser (von dessen Schwere man vor der Hand absehen kann) und über einer Oeffnung GH desselben einen dicht anschließenden Kolben EFGH, der mit der Kraft P abwärts gedrückt wird. Dieser Druck wirkt zwar unmittelbar nur auf die Wassertheilchen, welche die untere Kolbenfläche berühren, pflanzt sich aber durch diese nach allen Richtungen fort. Die nach abwärts gerichtete Fortpflanzung ist für sich klar, weil nach dieser Richtung die Kraft P wirkt; aber wegen der Fähigkeit jedes einzelnen Theilchens, nach allen Richtungen gleich leicht auszuweichen, muß sie auch nach den Seitenwänden erfolgen, und zwar wird jedes Stück sowohl des Bodens CD, als auch der Wände AD, BC, AH, GB, welches der Kolbenfläche GH an Flächeninhalt gleich ist, mit der Kraft P auswärts gedrückt. Verhält sich daher die Fläche GH zur Fläche des Stückes LM der Seitenwand BC, wie a zu b, und nennt man den Druck, welchen LM in Folge der Einwirkung der Kraft P auf GH leidet, Q, so besteht die Proportion $P : Q = a : b$. Denkt man sich eine Oeffnung bei LM, und diese durch einen Kolben geschlossen, auf den die Kraft Q nach einwärts wirkt, so halten die Kräfte P und Q einander das Gleichgewicht. Eine Vorrichtung dieser Art läßt sich demnach als eine einfache Maschine betrachten, wobei das Gefäß ABCD jede beliebige Form haben, und die Oeffnungen GH, LM an beliebigen Stellen desselben angebracht seyn können.

Den Satz der allseitigen Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten hat zuerst Pascal um die Mitte des 17. Jahrhunderts der Theorie ihres Gleichgewichtes zum Grunde gelegt.

179. Eine weitere Folge der absoluten Verschiebbarkeit der Theile ist, daß eine flüssige Masse nur dann im Gleichgewichte stehen kann, wenn sich die auf jedes einzelne Theilchen wirkenden Kräfte für sich im Gleichgewichte befinden, mithin wenn sich diese Kräfte selbst aufheben oder durch einen Widerstand aufgehoben werden. Einen solchen Widerstand leisten die Wände der Gefäße durch ihre Festigkeit, auch die Theile tropfbarer Flüssigkeiten durch ihre Unzusammendrückbarkeit; bei den Theilen ausdehnsamer Flüssigkeiten wirkt ihr Bestreben, sich auszudehnen, den äußeren Kräften entgegen. Hieraus kann man nun klar einsehen, daß das Gleichgewicht einer flüssigen Masse nicht gestört wird, wenn man einen Theil derselben durch eine feste Wand ersetzt, welche durch ihre Festigkeit dasselbe leistet, was die von ihr verdrängten flüssigen Theile durch ihre Unzusammendrückbarkeit oder Ausdehnsamkeit zu leisten vermochten; oder umgekehrt, wenn man an die Stelle einer festen Wand flüssige Theile setzt.

180. Befindet sich eine Flüssigkeit in einem offenen Gefäße, so muß im Stande des Gleichgewichtes die Oberfläche so gestaltet seyn, daß die Richtungen der auf sie wirkenden Kräfte auf ihr senkrecht stehen; denn widrigenfalls könnte jede Kraft in zwei zerlegt werden,

wovon eine in der zu ihrem Angriffspuncte gehörigen Berührungsebene wirken, und daher ein Hingleiten der Theile längs derselben verursachen würde.

181. Nach diesen Gesetzen richten sich alle flüssigen Körper, sowohl die tropfbaren als die ausdehnsamen, weil sie auf einer Eigenschaft beruhen, die beiden gemeinschaftlich zukommt; doch gibt es sowohl für die einen als für die anderen Körper auch besondere Gesetze, und diese müssen durch jene Eigenschaften bestimmt werden, auf denen das Wesen des tropfbaren oder ausdehnsamen Zustandes beruht. — Tropfbare Körper, von denen hier vorzugsweise gehandelt werden soll, sind so schwer zusammendrückbar, daß nur sehr große Kräfte eine merkliche Compression bewirken, und sie für mäßige Kräfte als völlig unzusammendrückbar angesehen werden können. Diese Eigenschaft begründet das Daseyn eigenthümlicher Gesetze für solche Körper.

Auf der in 178 besprochenen Fortpflanzung des Druckes und der Unzusammendrückbarkeit einer Flüssigkeit beruht die Bramah'sche Presse. (Fig. 45 a, von Außen und 45 b, im Durchschnitte.) Diese besteht im Wesentlichen aus zwei verticalen, cylindrischen, mit Wasser gefüllten Gefäßen A und B von ungleichen Durchmessern, die mittelst einer horizontalen Röhre C mit einander verbunden sind, und in deren jedem sich ein Kolben bewegt. Wird der Kolben des engeren mittelst eines Hebels D auch nur mit mäßiger Kraft herabgedrückt, so wirkt dieser Druck verstärkt auf den größeren Kolben. Damit beim Zurückziehen des kleineren Kolbens der größere nicht zurückgehen könne, ist in der Verbindungsröhre beider Cylinder eine Klappe a angebracht, welche dem Wasser vom engeren Cylinder in den weiteren zu gehen gestattet, aber nicht umgekehrt. Um mit jedem Spiel des kleineren Kolbens den größeren vorwärts zu bringen, ist mit jenem ein Wassergefäß mittelst einer Klappe b in Verbindung, aus welchem bei jedem Hub des kleineren Kolbens eine neue Portion Wasser in den Cylinder dringt, ohne beim Sinken des Kolbens wieder in dasselbe Gefäß zurückkehren zu können. Nur wenn man die Communication zwischen dem größeren Cylinder und dem Wassergefäße durch Umdrehen eines Hahnes c herstellt, kann das Wasser wieder aus jenem in dieses gelangen, worauf der Kolben durch sein eigenes Gewicht sinkt und dem Druck auf den Körper, welcher sich zwischen der Kolbenplatte E und dem Gerüste der Presse F befindet, ein Ende macht. Es ist leicht, die Kraft zu berechnen, mit welcher ein bestimmter, unmittelbar am äußersten Hebelarme angebrachter Druck auf den größeren Kolben wirkt. Ist D der Durchmesser des größeren, d derjenige des kleineren Kolbens, A der längere, a der kürzere Hebelarm; so wird die am Hebelende wirkende Kraft p durch den Hebel in dem Verhältnisse a : A, durch die ungleiche Dicke der Kolben in dem Verhältnisse $d^2 : D^2$ verstärkt, und wirkt daher auf den größeren Kolben mit der Stärke $p \cdot \frac{D^2 A}{d^2 a}$. Man braucht diese Presse heut zu Tage häufig in Tuchfabriken, Papiermühlen; auch zum Heben großer Lasten wird sie verwendet.

182. Starke Kräfte bewirken an tropfbaren Flüssigkeiten eine Compression, die bis zu einer gewissen Grenze der Kraft proportionirt ist, auch kehrt, wenn diese Kraft zu wirken aufhört, das vorige Volum wieder zurück. Solche Körper sind also vollkommen elastisch. Dieses

hat zuerst Herbert (Prof. an der Universität zu Wien) bewiesen, und Pfaff, Perkins, Oersted, vorzüglich aber Colladon und Sturm haben es bestätiget. Herbert bediente sich des Apparates (Fig. 46), wo A eine hohle, an eine enge Röhre a angeblasene Glaskugel von bekannter Capacität, B eine erweiterte, aber unter einem rechten Winkel gebogene Fortsetzung der Röhre a ist. Die Kugel A befindet sich in einem wasserdichten Gefäße C, an dessen oberer Wand sich ein Rohr d, von gleichem Durchmesser mit a, erhebt. Wird die Kugel A sammt einem Stück der engen Röhre bis a, so wie das die Kugel umgebende Gefäß C bis d mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt, und hierauf durch das Rohr B Quecksilber nachgegossen, um jene Flüssigkeit zusammenzudrücken; so braucht man nur den Weg ab, um welchen die Flüssigkeit in der Röhre zurückgewichen, und den Weg de, um welchen sie im Gefäße C gestiegen ist, zu messen, und den Unterschied der Volume ab — de mit dem Volum der Flüssigkeit vor dem Versuche zu vergleichen. Da nämlich das Zurückweichen der Flüssigkeit von a nach b von der Compression derselben und von der Ausdehnung der Kugel A, das Steigen de aber bloß von letzterer Ursache herrührt; so ist ab — de offenbar die Größe der Compression, welche die Flüssigkeit erlitten hat. Theilt man das dieser Größe entsprechende Volum durch jenes der Flüssigkeit vor der Compression, so erhält man die Größe der Compression. Nach dem Vorgange oben genannter neueren Physiker bringt man die zu comprimirende Flüssigkeit in einen Behälter von Glas, welcher einem Thermometergefäße ähnlich, in eine Röhre ausläuft, die mit einer Volumscala versehen ist. Diesen Behälter stellt man in ein größeres, mit derselben Flüssigkeit gefülltes cylindrisches, sehr starkes Glasgefäß, das an einem Ende geschlossen, am anderen Ende aber mit einer Druckpumpe versehen ist, um damit ein neues Flüssigkeitsquantum hinein zu treiben, und hiedurch auf die in beiden Gefäßen enthaltene Flüssigkeit einen Druck auszuüben. Die Flüssigkeit im inneren Gefäße reicht bis in die enge Röhre hinein, und ist von der äußeren Flüssigkeit durch Quecksilber abgesperrt. Hiedurch kann das Volum, welches die Flüssigkeit im inneren Gefäße bei verschiedenen Graden der Compression einnimmt, leicht bestimmt werden, und dieses Volum wäre, wenn das Glas als ein unzusammendrückbarer Stoff betrachtet werden dürfte, reines Ergebniß des Druckes, da dann das Gefäß selbst, welches von außen und innen denselben Druck erfährt, keine Volumsänderung erleiden würde. Da aber diese Annahme nicht zuläßig ist, so muß man die Compression des Glases, wodurch die Resultate vergrößert werden, in Rechnung bringen. Um die Größe des Druckes in jedem Augenblicke angeben zu können, wird in das äußere Gefäß ein mit Luft gefülltes und durch Quecksilber gesperrtes Rohr gesetzt, und aus der, durch die Volumscala, womit es versehen ist, angezeigten Compression der Luft, mit Rücksicht auf die Compression des Glases (nach dem später zu erklärenden Mariotte'schen Gesetze) auf die Größe des Druckes geschlossen, unter dem diese Luft, mithin auch

die Flüssigkeit in dem vorhin beschriebenen Gefäße steht. (Mitscherlich's Lehrbuch der Chemie, zweite Auflage, S. 280.) Folgende Tabelle gibt die Resultate solcher Versuche in Milliontheilchen des ursprünglichen Volums für den Druck von einer Atmosphäre (ungefähr 12½ Pfd. für 1 Q. Zoll Fläche) an:

Quecksilber bei 0° C . =	5,03	Wasser mit Ammoniak gesättiget . . . . =	38
Luftleeres Wasser bei 0° C =	51,3	Salpeteräther bei 0° C =	71,5
Wasser, Luft haltend bei 0° C =	49,5	Salzäther bei 11°,2 C =	85,9
bei 10° C =	44,7	Schwefelf. conc. bei 0° C =	32
bei 16° C =	42,7	Essigsäure bei 0° C . =	42,2
bei 3,75° C =	46,1	Salpetersäure von 1,403 sp. G. bei 0° C . . =	32,2
Alkohol bei 11°,6 C . =	96,2	Terpentinöhl bei 0° C =	73
Schwefeläther bei 0° C =	133—122	Essigäther bei 12° C . =	97,3
bei 11° C =	150—141		

Alkohol, Schwefeläther, Essigäther und Salzäther werden nicht für gleiche Zunahmen der comprimirenden Kräfte um gleich viel zusammengedrückt, sondern ihre Compressibilität nimmt ab, wenn die Flüssigkeit schon stark comprimirt ist (Zeitsch. 6. 236.) — Tropfbare Flüssigkeiten verhalten sich bei der Compression etwas anders als feste Körper. Jene erleiden nach allen Richtungen dieselbe Compression, so daß die Molekel, welche vor dem Zusammendrücken in der Oberfläche einer Kugel lagen, auch nach der Compression in einer solchen, aber kleineren Oberfläche liegen, während feste Körper durch eine drückende Kraft nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Compression erleiden, ja oft nach einer Richtung einer Compression, nach einer anderen zugleich einer Dilatation unterliegen. (Colladon und Sturm in Pogg. Ann. 12. 39. Oersted ebend. 9. 603; 12. 158 und 513; 31. 361.)

183. Der Zustand der vollkommenen Flüssigkeit wird durch die absolut leichte Verschiebbarkeit der Molekel charakterisirt. Die Naturkörper, welche die Verschiebbarkeit der Molekel nicht in diesem hohen Grade besitzen, können daher auch nicht für vollkommene Flüssigkeiten gelten. Unter den tropfbaren Stoffen nähert sich diesem mathematischen Zustande am meisten die comprimirte Schwefelwasserstoffsäure, dann comprimirter Kohlenwasserstoff; mehr entfernt davon steht das Wasser und noch mehr die fetten Oehle. Manche Körper weichen von dem Zustande der vollkommenen Flüssigkeit gar weit ab, und erscheinen in einer Art Mittelzustand zwischen Festigkeit und Flüssigkeit, wie z. B. Honig, viele Oehle. Dieser Zustand hängt von einer solchen Annäherung der Theile an einander ab, bei welcher die Ungleichheit der Molecularkraft nach verschiedenen Richtungen schon merklich zu werden anfängt, oft aber auch davon, daß solche Körper Gemenge eines flüssigen und eines fein zertheilten, festen Stoffes sind, wie dieses bei erkaltenden fetten Oehlen der Fall ist, bei welchem das Stearin eher fest wird als das Elain.

Man kann daher allerdings auch Grade der Flüssigkeit annehmen und der Messung unterwerfen, indem man derselben ein Phänomen, welches von der größeren oder geringeren Verschiebbarkeit der Flüssigkeitstheilchen abhängt, z. B. die Menge der Flüssigkeit, welche binnen einer festgesetzten Zeit aus einem enghalsigen Gefäße abfließt, zum Grunde legt.

184. Die Gesetze des Gleichgewichtes tropfbarer Flüssigkeiten lassen sich aus der bloßen Leichtigkeit der Verschiebung ihrer Molekel und aus der Schwierigkeit diese einander näher zu bringen vollständig ableiten, sobald man nur auf die Kräfte, welche die Molekel beherrschen, gehörig achtet. Nach dem, was im vorhergehenden Abschnitte gelehrt wurde, überzeugt man sich leicht, daß hier folgende Kräfte in Betrachtung zu ziehen sind. 1) Die Schwere; 2) die Molecularkräfte der Flüssigkeit selbst; 3) die Molecularkräfte, welche fremdartige, an die Flüssigkeit grenzende Körper auf letztere ausüben. Hiezu kommt noch in den meisten Fällen 4) ein äußerer Druck. Gewöhnlich hat die Schwere über die genannten Molecularkräfte ein so entschiedenes Uebergewicht, daß die Wirkungen letzterer gegen erstere verschwinden, und man daher eine tropfbare Flüssigkeit so behandeln darf, als wäre sie ein Aggregat schwerer, gegen einander und gegen die Gefäßwände ganz indifferenter Partikel, dergestalt daß die Tropfenbildung ganz hinwegfällt, und die Benennung: »tropfbare Flüssigkeiten« unpassend wird. Hiezu fügt man zur Erleichterung der theoretischen Untersuchung noch absolut leichte Verschiebbarkeit dieser Partikel und Unzusammendrückbarkeit der von ihnen gebildeten Masse, ja man abstrahirt sogar von der Porosität und nimmt die Sache so, als erfüllte die Flüssigkeit ihren Raum mit Stetigkeit. In der That wird man, wenn man sich die Beschaffenheit gewöhnlicher tropfbarer Flüssigkeiten, z. B. des Wassers, Weingeistes u. dgl. vor Augen hält, wohl keinen Grund finden, aus welchem man befürchten sollte, aus diesen Voraussetzungen unbrauchbare oder von der Erfahrung sichtlich abweichende Resultate hervorgehen zu sehen. Allein in anderen Fällen darf man die Kräfte, welche die Molekel gegen einander, und die Gefäßwände gegen sie äußern, nicht bei Seite setzen, da sie den Hergang der Erscheinungen wesentlich bestimmen. Darnach zerfällt die Untersuchung des Gleichgewichtes tropfbarer Flüssigkeiten in zwei Theile, in deren ersterem die Molecularkräfte noch unbeachtet bleiben, während sie im zweiten in gehörige Betrachtung gezogen werden.

B. Gesetze des Gleichgewichtes tropfbarer Körper, ohne Rücksicht auf Molecularkräfte.

185. Befindet sich eine schwere Flüssigkeit in hinreichender Menge in einem Gefäße, so muß der Druck der oberen Theile auf die unteren ein Auseinanderfließen der tropfbaren Masse bewirken, das nur durch den Widerstand des Gefäßes aufgehoben wird. Deßhalb nehmen tropfbare Flüssigkeiten in größerer Menge immer die Form des Gefäßes an, worin sie sich befinden. Ist dieses Gefäß offen, so muß sich die Gestalt der Oberfläche der Flüssigkeit einem Kugelsegmente in dem Maße nähern, in welchem sich die Gestalt der Erde einer Kugel nähert; denn nur in diesem Falle steht die Richtung der Schwere jedes Theilchens auf der Oberfläche senkrecht (180). In kleinen Gefäßen kann man die Richtungen der Schwere für parallel halten, und daher, in sofern nämlich von der Molecularaction der Gefäßwände auf die Flüssigkeit keine

Rede ist, annehmen, die Oberfläche der Flüssigkeit liege in einer horizontalen Ebene. Diese Ebene heißt der Spiegel oder das Niveau der Flüssigkeit.

186. Durch die Schwere erleiden alle Theile einer Flüssigkeit einen Druck nach abwärts, und daher (wegen 178) auch einen Druck nach allen Seiten. Um diesen Druck für ein Theilchen im Innern der Masse ermessen zu können, denke man sich in ihr ein solches, unendlich kleines Theilchen a (Fig. 47), von dem man leicht sieht, daß es durch das Gewicht der Säule ab abwärts, mithin auch eben so stark seitwärts und aufwärts gedrückt wird. Es hängt daher dieser Druck von der Tiefe des Theilchens a unter der Oberfläche der Flüssigkeit ab, und Theilchen, die in einer mit der Oberfläche parallelen Fläche (mithin bei kleinen Massen in derselben horizontalen Ebene) liegen, erleiden einen gleichen Druck nach allen Seiten. Daß kein Theilchen ausweicht, kommt vom Gegendruck der übrigen her.

187. Ist Fig. 48 ein bis AB mit einer Flüssigkeit gefülltes Gefäß und AB horizontal; so kann man im Inneren eine feste Wand CED entstehen lassen, ohne daß dadurch dem Gleichgewichte Abbruch gethan wird (179). Es werden daher auch im Gefäße ACEDB die Oberflächen der Flüssigkeit AC und BD in derselben Horizontalebene liegen, mögen übrigens die Wände des Gefäßes wie immer beschaffen seyn. Gefäße, bei denen der Uebergang von einem in das andere nicht gesperrt ist, heißen Communicationsgefäße, und eine ruhige Flüssigkeit steht in solchen daher immer gleich hoch.

Hierauf beruht das Aufsteigen des Wassers sowohl in den gewöhnlichen als in den sogenannten Artesischen Brunnen, des Grundwassers in Flüssen, auch die Einrichtung der gewöhnlichen Lampen und der dochtlosen Nachtlämpchen (Pogg. Ann. 10. 624.) u. s. w.

188. Wenn ein Gefäß, wie Fig. 49, mit geradlinigem, horizontalen Boden CD, und verticalen Wänden AC und BD von einer Flüssigkeit erfüllt ist, so drückt jedes Theilchen auf den Boden; es wird daher der gesammte Bodendruck P gleich seyn dem absoluten Gewichte der Flüssigkeit, mithin dem Producte aus der Basis B des Gefäßes, in die Höhe A der Flüssigkeit und in ihr specifisches Gewicht S, oder es ist $P = ABS$. Dasselbe gilt auch für jedes andere Gefäß von was immer für einer Gestalt, und der Bodendruck ist von der Menge der Flüssigkeit ganz unabhängig und richtet sich nur nach der Basis, der Höhe und dem specifischen Gewichte derselben. Denn es sey (Fig. 50) das Gefäß ABCD mit einer Flüssigkeit bis AB gefüllt, und man denke es sich als ein Stück eines Communicationsgefäßes ABEF. In diesem wird offenbar Gleichgewicht herrschen, sobald die Flüssigkeit bis AB und EF reicht, es mag nun das unregelmäßige Gefäß ABCD, oder das regelmäßige, mit verticalen Wänden versehene GCDH den zweiten Arm ausmachen. In beiden Fällen wird CD von oben nach unten und von unten nach oben mit gleichen Kräften gedrückt. Aber der Druck von unten nach oben bleibt, so lange an dem Schenkel CDEF nichts geändert wird, stets derselbe; es muß daher dasselbe auch von

dem Drucke gelten, den EF von oben nach unten erleidet. Es ist also der Druck auf CD in beiden Gefäßen gleich groß. Ein bestimmter Druck einer ruhenden Flüssigkeit auf die horizontale Basis = 1 fordert demnach nur eine bestimmte Höhe der drückenden Säule. Man nennt sie die hydrostatische Druckhöhe. Auf dem Bodendrucke beruhen der anatomische Heber und seine Benützung als Wage, die Wassersäulenmaschine, Real's Presse 2c.

Der anatomische Heber (Fig. 51) ist ein Communicationsgefäß mit zwei ungleich hohen und sehr ungleich weiten Armen, wovon der weitere und kürzere mit einer Blase verbunden, der längere und engere aber offen und zur Aufnahme jenes Wassers bestimmt ist, welches die Blase über den weiteren Arm spannen, oder ein darauf liegendes Gewicht heben soll.

Die Wassersäulenmaschine unterscheidet sich vom anatomischen Heber dadurch, daß der weitere Arm durch einen wohlanliegenden Kolben geschlossen ist, der durch den Druck des Wassers aufwärts bewegt wird, nach Abfluß desselben aber (welches durch einen eigenen Hahn, oder einen Hilfskolben bewerkstelliget wird), durch sein eigenes Gewicht sinkt, wenn nicht die Einrichtung so getroffen ist, daß ihn auch nach dieser Richtung eine Wassersäule treibt. (Baumgartner's Mechanik. Wien 1834. S. 257.)

Real's Presse (Fig. 52) ist ein weiter Cylinder mit zwei siebartig durchlöcherten Platten a, b, der oben mit einer hohen, engen Ansatzröhre c versehen ist, um das Wasser aufzunehmen, welches bestimmt ist, auf die im Cylinder befindliche, auszupressende Substanz einen Druck auszuüben.

189. Mittelst der vorhergegangenen Berechnung des Bodendruckes ist man im Stande zu beweisen, daß sich die Höhen der Säulen ungleichartiger, in Communicationsgefäßen im Gleichgewichte stehenden Flüssigkeiten verkehrt, wie ihre specifischen Gewichte, verhalten. Gießt man in das Gefäß Fig. 53 z. B. Quecksilber, so daß es bis A und B reicht; so wird es im Gleichgewicht stehen, wenn A und B in einer horizontalen Ebene liegen (185). Gießt man nun auf A irgend eine andere, leichtere Flüssigkeit, z. B. Weingeist, bis C, so wird deßhalb das Quecksilber von A bis D zurückweichen, hingegen im anderen Schenkel bis E steigen. Man denke sich D und F in derselben Horizontalebene, bezeichne die Höhe der Säule DC mit A, die der Säule FE mit a, das specifische Gewicht des Quecksilbers mit s, das des Weingeistes mit S, den Röhrenquerschnitt bei D mit b; so ist der Druck auf diese Ebene von Seite des Quecksilbers gleich abs, von Seite des Weingeistes gleich AbS (188), und man hat

$$abs = AbS, \text{ mithin } a : A = S : s$$

190. Daß jeder Punct der Seitenwand eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes M (Fig. 54) einen Druck erleidet, ersieht man leicht aus 178. Die Größe dieses Druckes richtet sich offenbar nach der Tiefe des gedrückten Theils unter der Oberfläche der Flüssigkeit. Deßhalb wird der Druck auf ein sehr kleines Flächenstückchen bei E durch die Säule GE, jener auf ein eben solches Flächenstückchen bei F durch die Säule HF gemessen. Ein Stück der Seitenwand, dessen höchster

Punct in der Tiefe EG und dessen tiefster Punct in der Tiefe FH unter der Oberfläche der Flüssigkeit steht, erleidet also einen Totaldruck, der dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule gleichkommt, deren Basis die Fläche des gedrückten Stückes, deren Höhe größer als GE und kleiner als HF ist, überhaupt aber mittelst Elementarrechnung nicht immer gefunden werden kann.

Wenn man überhaupt von dem Drucke spricht, den eine Flüssigkeit an irgend einer Stelle der Seitenwand oder des Bodens, oder einer im Inneren angenommenen Fläche äußert, so meint man den Druck, den die Fläche = 1 erleiden würde, wenn jedes unendlich kleine Theilchen derselben genau so belastet wäre, wie ein gleiches unendlich kleines Flächenstückchen an der in das Auge gefaßten Stelle in der Flüssigkeit wirklich belastet ist. Nennen wir den auf diese Weise erhaltenen Gesammtdruck auf die Flächeneinheit Q, den Druck, der auf ein unendlich kleines Flächenstückchen ω sowohl an der bezeichneten Stelle, wie auch auf der Flächeneinheit Statt findet, q, so ist offenbar $Q : q = 1 : \omega$ mithin $Q = \frac{q}{\omega}$. Man hat also streng genommen den Druck Q als die Grenze zu betrachten, der sich der Quotient $\frac{q}{\omega}$ unendlich nähert, wenn man das Flächenstückchen ω, und im Einklange damit auch q, ins Unendliche verkleinert denkt.

Aus der Berechnung des Seitendruckes leitet man die Vorschriften für Anlegung der Dämme, Schleusen ꝛc. ab.

191. Durch den Seitendruck bekommt der gedrückte Theil ein Bestreben, sich nach der Richtung des Druckes fort zu bewegen; es kommt aber gewöhnlich zu keinem Erfolge, weil ein gegenüberstehender Theil einer hinlänglich festen Wand ein gleiches Bestreben nach entgegengesetzter Richtung erhält. Bringt man aber auf einer Seite der Wand eine Oeffnung an, so findet daselbst kein Druck mehr Statt, und die gegenüberstehende Seitenwand muß sich fortbewegen. Dieses zeigt die Erfahrung am Segner'schen Rade.

Segner's Rad besteht aus einem verticalen, cylindrischen Gefäße (Fig. 55), welches um eine verticale Axe beweglich ist, und unten zwei oder mehrere horizontale, gleichsam ein Rad bildende, am Ende seitwärts gebogene Ausflußröhrchen hat. Das durch dieselben aus dem Cylinder fließende Wasser setzt ihn nach einem der Richtung des Ausflusses entgegengesetzten Sinne in drehende Bewegung.

192. Befindet sich ein fremdartiger Körper in einer Flüssigkeit, so erleidet er denselben Druck nach allen Seiten, welchen die Flüssigkeit an seinem Platze erleiden würde. Der Druck seitwärts wird durch einen gleichen Gegendruck aufgehoben, der Druck aufwärts übertrifft aber den nach unten gerichteten um das Gewicht der vom eingetauchten Körper verdrängten Flüssigkeit. Um dieß einzusehen, denke man sich im Gefäße M (Fig. 54), welches bis AG voll ist, einen Theil N der darin befindlichen Flüssigkeit von beliebigem Volum und beliebiger Gestalt. Auf der Begrenzung desselben wähle man irgend ein unendlich

kleines Flächenstückchen a, und betrachte dieses als Basis eines verticalen Cylinders, der aufwärts und abwärts fortgesetzt, die Oberfläche der Flüssigkeit in c, die Begrenzung des Flüssigkeitsstückes N aber noch einmal in b treffe. Offenbar erleidet a von der N umgebenden Flüssigkeit einen abwärts gerichteten Druck, der dem Gewichte der Säule ac und b einen aufwärts gerichteten Druck, der dem Gewichte bc entspricht. Letzterer übertrifft ersteren um das Gewicht der Säule ab, und man kann sich vorstellen, daß diese durch den aufwärts wirkenden Unterschied beider Druckkräfte getragen werde. Ein Gleiches läßt sich von jeder andern in N vorhandenen verticalen Flüssigkeitssäule a′b′ sagen; es wird demnach die Flüssigkeitsmasse N durch den aufwärts wirkenden, ihrem Gewichte gleichen Unterschied der Druckkräfte, welche sie von der umgebenden Flüssigkeit nach aufwärts und abwärts erfährt, im Gleichgewichte erhalten. Das Gewicht der Flüssigkeit in N ist im Schwerpuncte derselben vereinigt; durch diesen muß daher auch der aufwärts gerichtete Druck gehen. Durch eine ähnliche Betrachtung läßt sich zeigen, daß aus der Action der umgebenden Flüssigkeit auf N keine horizontal wirkende Kraft hervorgehe, indem jeder auf ein Theilchen der Begrenzung von N Statt findende horizontale Druck durch den auf ein gegenüberliegendes Theilchen ausgeübten aufgehoben wird. Dasselbe, was hier mit der Flüssigkeit in N geschieht, muß auch für jeden fremdartigen Körper, der in dieselbe getaucht ist und das Volum N hat, gelten. Man kann deßhalb von jedem in eine Flüssigkeit getauchten Körper behaupten, daß alle auf seine Oberfläche wirkenden Kräfte eine einzige Resultirende haben, die vertical aufwärts durch den Schwerpunct der aus ihrem Raume verdrängten Flüssigkeit geht, und gleich ist dem Gewichte dieser Flüssigkeit.

193. Eine natürliche Folge des vorhergehenden Satzes ist, daß jeder schwere Körper in einer Flüssigkeit so viel von seinem Gewichte verliert, als die durch ihn verdrängte Flüssigkeit wiegt. Heißt daher das Gewicht eines Körpers im leeren Raume P, das der Flüssigkeit unter demselben Volum p; so ist sein Gewicht in der Flüssigkeit P—p. Zeigt sich $P > p$, so sinkt er in der Flüssigkeit zu Boden; ist $P = p$ so verhält er sich in ihr, wie eine schwerlose Masse; ist aber gar $P < p$, so steigt er in die Höhe, bis nur ein Stück von ihm eingetaucht ist, unter dessen Volum die Flüssigkeit so viel wiegt, als der ganze eingetauchte Körper. Es ist klar, daß P und p als Gewichte unter demselben Volum in demselben Verhältnisse stehen, wie die specifischen Gewichte (52) des eingetauchten Körpers und der Flüssigkeit. Man kann daher sagen: Ein in eine Flüssigkeit ganz eingetauchter, sich selbst überlassener Körper sinkt zu Boden, bleibt stehen, steigt aufwärts, je nachdem er specifisch schwerer, eben so schwer, leichter ist als die Flüssigkeit.

Diesen Hauptsatz der Hydrostatik hat Archimedes gefunden.

194. Da auf einen Körper, der sich in einer Flüssigkeit befindet, zwei Kräfte wirken, nämlich sein Gewicht, das ihn abwärts zieht und

in seinem Schwerpuncte vereinigt gedacht werden kann, und der Druck der Flüssigkeit, welcher ihn aufwärts treibt, dem Gewichte der vom Platze geschobenen Flüssigkeitsmasse gleich ist, und den vormaligen Schwerpunct derselben zum Angriffspuncte hat; so hängt das Gleichgewicht des Körpers in der Flüssigkeit bloß von dem Effecte zweier gleichsam an den Enden einer starren Linie, die hier die Verbindungslinie beider Schwerpuncte ist, nach verticalen und entgegengesetzten Richtungen angebrachten Kräfte ab. Damit also ein Körper in einer Flüssigkeit im Gleichgewichte sich befinde, wird erfordert: 1) daß sein Gewicht dem der verdrängten Flüssigkeit gleich sey, 2) daß der Schwerpunct der Flüssigkeit und der Schwerpunct des eingetauchten Körpers in derselben verticalen Linie liegen. Vermöge der ersten Bedingung kann er nicht steigen oder sinken, d. h. er schwimmt; vermöge der zweiten kann er sich nicht drehen. Man kann füglich annehmen, daß es für jeden Körper eine oder mehrere Lagen gibt, in welcher die zweite Bedingung erfüllt ist. In Betreff der ersten Bedingung liegt am Tage, daß sie nur bei Körpern erfüllt werden kann, deren specifisches Gewicht nicht größer als jenes der Flüssigkeit ist. In so ferne der zweiten Bedingung Genüge geschieht, ist noch zu beurtheilen, ob das Gleichgewicht des schwimmenden Körpers stabil oder labil sey. Zu diesem Ende denke man sich denselben durch eine sehr geringe Neigung aus seiner Gleichgewichtslage gebracht, und untersuche, ob er jetzt ein Bestreben kund gibt, sich gegen seine frühere Position zurück zu wenden, oder sich von derselben noch mehr zu entfernen. Es sey G der Schwerpunct des bereits in geneigter Stellung befindlichen Körpers, Gx die Gerade, welche in der Gleichgewichtslage des Körpers eine verticale Stellung hatte, in welcher sich daher auch der Schwerpunct der vom Körper verdrängten Flüssigkeit befand, und lassen wir den Winkel, den die Gx mit der verticalen Richtung Gz bildet, sehr klein seyn. Der Schwerpunct der jetzt verdrängten Flüssigkeit wird im Allgemeinen nicht in der Gz liegen, sondern in einen dem Schwerpuncte der früher verdrängten Flüssigkeit benachbarten Punct F außerhalb der Gz fallen. Nehmen wir, um einen leicht faßlichen Fall vor Augen zu haben, an, der Körper sey zu beiden Seiten einer die Gx in sich enthaltenen Ebene, wenigstens so weit er in die Flüssigkeit taucht, symmetrisch gebaut, und diese Ebene bleibe während der Neigung desselben vertical, so daß auch Gz in derselben liegt. Der Schwerpunct F wird nothwendig ebenfalls in dieser Ebene liegen, mithin muß die durch ihn gehende Verticallinie Fy der Gx in einem Puncte M begegnen. Man nennt ihn das Metacentrum des schwimmenden Körpers, und kann ihn als den Angriffspunct der den Körper in seiner jetzigen geneigten Lage aufwärts treibenden Kraft ansehen. Hier zeigt sich nun augenscheinlich, daß die zwei Kräfte, die den Körper beherrschen, ihn gegen seine vormalige Position zurück zu wenden streben, wenn der Schwerpunct G tiefer liegt als das Metacentrum M, und daß sie die Abweichung des Körpers von seiner Gleichgewichtslage noch zu vergrößern suchen, wenn das Umgekehrte obwaltet, nämlich

wenn das Metacentrum tiefer zu stehen kommt, als jener Schwerpunct. Im ersten Falle ist die hier betrachtete Gleichgewichtslage des Körpers in der Flüssigkeit eine stabile, im zweiten eine labile. Weil der Schwerpunct F der verdrängten Flüssigkeit in der geneigten Position des Körpers von jenem in der Gleichgewichtslage bei so geringer Verrückung des Körpers nur sehr wenig abweichen kann, also in der Nähe der Gx bleiben muß, so sieht man leicht ein, daß der erste Fall ganz gewiß vorhanden ist, wenn der Schwerpunct des Körpers in der Gleichgewichtslage unter dem Schwerpuncte der verdrängten Flüssigkeit steht (Fig. 56, a); findet aber die entgegengesetzte Anordnung beider Schwerpuncte Statt, so läßt sich im Allgemeinen nichts Bestimmtes sagen, denn es kann hiebei das Metacentrum sowohl über (Fig. 56, b) als unter dem Schwerpuncte des Körpers (Fig. 56, c) erscheinen, mithin das Gleichgewicht so gut stabil als labil seyn. Die Realität der letzteren zwei Fälle stellt sich am leichtesten vor Augen, wenn man, wie in Fig. 56, b und c, rechtwinkelige Parallelepipede von homogener Masse, gleichem Gewichte und gleicher Basis betrachtet, wobei also der Schwerpunct des Körpers in dem Mittelpuncte der Figur liegt, die Rauminhalte der verdrängten Flüssigkeit stets gleich sind, und deren Schwerpuncte an gleichliegende Stellen fallen. Es ist leicht, auch den allgemeinen Fall in Erwägung zu ziehen, wenn die Verticale Fy die Gz nicht schneidet. Die Bedingung der Stabilität des Gleichgewichtes ist dann, daß die Gx und der Punct F auf verschiedene Seiten der Ebene fallen, welche durch Gz senkrecht gegen die Ebene xGz geht, wodurch man zu ähnlichen Resultaten gelangt. Befindet sich also der Schwerpunct des in einer Flüssigkeit im Gleichgewichte schwimmenden Körpers unter dem Schwerpuncte der verdrängten Flüssigkeit, so hat der Körper Stabilität; ist er im labilen Zustande, so liegt der Schwerpunct des Körpers höher als jener der Flüssigkeit; jedoch keiner dieser zwei Sätze läßt sich rein umkehren.

195. Da die Bestimmung der Umstände, unter welchen ein Körper in einer Flüssigkeit in die Höhe steigt oder hinabsinkt, sich auf die Betrachtung des Druckes gründet, den die Flüssigkeit auf jeden ihrer Theile ausübt, so bleiben diese Umstände ganz dieselben, wenn eine Flüssigkeit statt eines festen Körpers in eine Flüssigkeit gebracht wird, und die oben vorgetragenen Sätze finden selbst dann noch Anwendung, wenn die Flüssigkeiten chemisch mit einander verwandt sind, sobald nur die Mischung derselben noch nicht vor sich gegangen ist.

So schwimmt nicht bloß Baumöhl, sondern auch Wein auf Wasser, dieses auf Schwefelsäure u. dgl. Warmes Wasser steigt in kaltem in die Höhe, daher die innere Bewegung, wenn man Wasser von unten erwärmt. Auf der specifischen Leichtigkeit der Luft im Vergleiche mit Wasser beruht auch die Wasserwage. Sie besteht aus einer cylindrischen Röhre (Fig. 57), die in der Richtung ihrer Länge kreisförmig gebogen, bis auf einen kleinen Theil mit Wasser oder besser mit Weingeist gefüllt und luftdicht verschlossen ist. Gewöhnlich wird sie durch Stützen getragen, die eine gleiche Länge haben, wohl auch mittelst Stellschrauben verkürzt oder verlängert werden können. Steht die Basis

horizontal, so hat die Mitte der Röhre den höchsten Stand, und die Mitte der Luftblase fällt mit ihr zusammen: wird die Basis aber aus der horizontalen Lage verrückt, so geht auch die Luftblase näher gegen das höhere Ende hin. Es dient daher die Wasserwage, um eine Ebene horizontal zu stellen, oder zu erkennen, ob eine Ebene horizontal sey oder nicht.

196. Zwei oder mehrere Flüssigkeiten können sich in jeder Ordnung über einander lagern und im Gleichgewichte stehen, wie immer ihre specifischen Gewichte beschaffen seyn mögen; Stabilität haben sie aber nur, wenn sie sich nach der Ordnung ihrer specifischen Gewichte über einander befinden, und die specifisch schwerste den untersten Platz einnimmt.

Darum kann man in einer engen Glasröhre Wasser, ja sogar Quecksilber über Luft erhalten, so lange keine Erschütterung eintritt.

197. Ein schwimmender Körper kann sich in eine Flüssigkeit, deren spec. Gewicht größer ist als sein eigenes, nur zum Theil eintauchen. Ist V das Volum eines solchen Körpers, P sein absolutes, S sein specifisches Gewicht, ferner s das specifische Gewicht der Flüssigkeit, welches wir größer annehmen als jenes des Körpers, v das Volum des eingetauchten Theils des Körpers; so hat man (nach 52)

$$P = VS,\quad P = vs,\quad \text{mithin}\quad VS = vs \quad \text{oder}\quad v : V = S : s,$$

d. h. das Volum des eingetauchten Theils verhält sich zum Volum des ganzen Körpers, wie das specifische Gewicht dieses Körpers zu jenem der Flüssigkeit. Wird derselbe Körper in zwei verschiedene Flüssigkeiten getaucht, deren specifische Gewichte s und s' sind; so findet man das Verhältniß der eingetauchten Theile v und v' aus $P = vs$ und $P = v's'$, woraus man bekommt $vs = v's'$, und $v : v' = s' : s$, d. h. die in verschiedene Flüssigkeiten eingetauchten Theile eines Körpers verhalten sich verkehrt, wie die specifischen Gewichte dieser Flüssigkeiten. Sollen zwei Körper, deren absolute Gewichte P und P' sind, in zwei Flüssigkeiten vom specifischen Gewichte s und s' sich um den Theil v eintauchen; so hat man $P = vs$, $P' = vs'$, $P : P' = s : s'$, d. h. die absoluten Gewichte verhalten sich wie die specifischen Gewichte der Flüssigkeiten. Es ist aus 52 klar, daß man statt des Verhältnisses der specifischen Gewichte jenes der Dichten setzen kann, und daß daher die hier betrachteten Rauminhalte in derselben Relation zu den Dichten, wie zu den specifischen Gewichten stehen.

198. Körper, die in ihrem natürlichen Zustande specifisch schwerer sind, als eine gegebene Flüssigkeit, können in ihr zum Schwimmen gebracht werden, wenn man sie so sehr verkleinert, daß sie den Widerstand der Flüssigkeit nicht überwinden können, oder wenn man sie aushöhlt oder mit anderen Körpern verbindet, die specifisch leichter sind als jene Flüssigkeit. Hierauf beruhen: das Schwimmen kleiner Erdtheile im Wasser, die Einrichtung unserer Schiffe, Schwimmgürtel, Rettungsboote, das Schwimmen leerer Fässer, die Möglichkeit aus ihnen Brücken zu bauen oder versunkene Waaren aus dem Wasser zu heben, das Schwimmen der Fische, der kartesianische Taucher u. s. w.

Ist z. B. A ein kugelförmiger Körper vom Halbmesser R, dessen specifisches Gewicht S größer ist als das des Wassers σ; so kann man leicht finden, wie groß der kugelförmige Theil seiner Masse ist, der von Innen weggenommen werden muß, damit der Körper im Wasser schwimme. Denn das Gewicht dieses Körpers ist $\frac{4}{3}\pi R^3 S$, jenes des Wassers unter demselben Volum $\frac{4}{3}\pi R^3 \sigma$, wenn π das bekannte Kreisverhältniß bedeutet. Heißt nun der Halbmesser der wegzunehmenden Masse r, mithin $\frac{4}{3}\pi r^3 S$ das Gewicht derselben, so wird obige Kugel schwimmen, wenn man hat:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 S - \frac{4}{3}\pi r^3 S = \frac{4}{3}\pi R^3 \sigma \text{ oder } r = R \sqrt[3]{\left(\frac{S-\sigma}{S}\right)}.$$

Soll ein Körper statt durch Aushöhlen durch Verbindung mit einem specifisch leichteren zum Schwimmen gebracht, und das nöthige Gewicht des letzteren bestimmt werden; so nenne man sein absolutes Gewicht P, sein specifisches S; eben diese Bedeutung mögen p und s für den specifisch leichteren haben, während σ das specifische Gewicht des Wassers bedeutet. Da der Körper schwimmen wird, wenn sein Gewicht sammt der Zugabe dem Gewichte des verdrängten Wassers gleich ist; so hat man:

$$\left(\frac{P}{S} + \frac{p}{s}\right)\sigma = P + p, \text{ mithin } p = \frac{Ps\,(S-\sigma)}{S\,(\sigma - s)}.$$

Man kann in diesen Formeln statt der specifischen Gewichte auch die Dichten setzen, denn da sich diese Gewichte im Zähler und Nenner gleich oft vorfinden, so kommt es hier nicht auf die absoluten Werthe, sondern nur auf die Verhältnisse derselben an; es verhalten sich aber die specifischen Gewichte der Körper wie deren Dichten (52).

Mit dem erwähnten Schwimmen muß man ja nicht das künstliche des Menschen verwechseln. Dieses ist ein beständiges Wehren gegen das Untersinken mittelst der Hände und Füße. Der Schwimmer stemmt sich mit den flachen Händen und mit den Fußsohlen gegen das Wasser, indem er erstere schnell abwärts bewegt und letztere schnell ausstreckt, hierauf beide zurückzieht und mit der kleineren Fläche das Wasser durchschneidet. Verengung der Brusthöhle durch Ausathmen, Hervorstrecken der Hände aus dem Wasser befördert das Sinken. Je größer der eingetauchte Theil des Körpers ist, desto leichter geht das Schwimmen von Statten, dieß zeigt das Schwimmen auf dem Rücken. (Die Kunst zu schwimmen von Oronzio di Bernardi, Weimar 1799.)

C. Hydrostatische Bestimmung der specifischen Gewichte und der Dichten fester und tropfbarer Körper.

199. Könnte man Rauminhalte so leicht mit Genauigkeit messen, wie man die Gewichte der Körper findet, so wäre zur Bestimmung der specifischen Gewichte kein besonderes Verfahren nöthig; man erhielte das specifische Gewicht eines Körpers unmittelbar durch Division seines absoluten Gewichtes mit seinem Volum. Allein da das Volum eines Körpers, der keine regelmäßige Gestalt besitzt, auf directem Wege, d. i. durch wirkliche Messung nicht mit hinreichender Genauigkeit gefunden werden kann, so sucht man lieber die Dichte des Körpers und multiplicirt selbe mit dem specifischen Gewichte des Wassers, wodurch man das specifische Gewicht des Körpers erhält. Es tritt daher die Nothwendigkeit einer directen Volumsbestimmung lediglich bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes des Wassers ein. Der im

Vorhergehenden bewiesene Lehrsatz gestattet das Gewicht des Wassers unter einem gemessenen Volum auf einem leichteren und sicherern Wege zu bekommen, als durch die in 53 in Anwendung gebrachte Abwägung eines mit Wasser gefüllten Gefäßes. Es läßt sich nämlich das Volum eines soliden festen Körpers von regelmäßiger Figur bequemer und schärfer messen, als der Rauminhalt eines Gefäßes. Versenkt man daher einen metallenen Cylinder, dessen Volum v genau ausgemittelt worden ist, in Wasser und sucht den Gewichtsverlust p, den er darin erleidet, so hat man dadurch zugleich das Gewicht des Wassers, welches das Volum des Cylinders ausfüllt, aus welchen Größen sich das specifische Gewicht des Wassers nach der Formel $s = \frac{p}{v}$ ergibt.

200. Die Dichte tropfbarer und fester Körper erhält man auf hydrostatischem Wege entweder mittelst der sogenannten hydrostatischen Wage oder mittelst der Aräometer.

Die hydrostatische Wage unterscheidet sich von einer gewöhnlichen Schalwage nur durch ihre größere Empfindlichkeit und Genauigkeit, und es kann jede gute Wage dieser Art sogleich in eine hydrostatische umgestaltet werden, wenn man ihr an einer Seite eine kürzer aufgehängte Schale gibt, die unten einen Haken trägt, woran mittelst eines feinen Drahtes nach Bedürfniß ein fester Körper, in der Regel ein solider Glastropfen, oder ein Glasschälchen aufgehängt wird, um diese Gegenstände während des Gebrauches der Wage nach Umständen in Wasser oder in eine andere Flüssigkeit zu versenken, und die dadurch entstehende Gewichtsdifferenz zu finden. Hierzu gehört noch ein zum Höher- und Niedrigerstellen eingerichteter Träger für das Gefäß, worin sich diese Flüssigkeit befindet, allenfalls noch eine gleichfalls mit einem Drahte zum Aufhängen versehene Zange, um feste Körper darin einzuspannen, u. dgl.

Die erste Idee der hydrostatischen Wage und ihres Gebrauches gehört Galilei.

201. Handelt es sich nun um die Bestimmung der Dichte einer tropfbaren Flüssigkeit, so wäge man einen festen Körper, dessen Gewichtsverlust p in reinem Wasser man kennt, in der zu untersuchenden Flüssigkeit sorgfältig ab, und bestimme den darin erlittenen Gewichtsverlust q. Nennt man die gesuchte Dichte D, so hat man $D : 1 = q : p$ und hieraus $D = \frac{q}{p}$. Es versteht sich von selbst, daß der eingetauchte Körper weder im Wasser, noch in der zu prüfenden Flüssigkeit auflöslich seyn darf, und daß er sich in beide ganz einsenken muß. In den meisten Fällen reicht man mit dem vorerwähnten Glastropfen aus, nur bei der Untersuchung der Flußsäure (die Glas angreift), muß man zu einer silbernen oder bleiernen Masse seine Zuflucht nehmen.

Statt des vorhergehenden Verfahrens kann man auch das folgende gleichfalls hydrostatische wählen: Man bringe die zu untersuchende Flüssigkeit in einen Arm eines communicirenden Gefäßes, und Wasser in den

10*

anderen, trenne, wenn sie sich etwa mit einander zu mischen geneigt sind, beide von einander durch eine dritte, gegen beide indifferente Flüssigkeit, und messe die Höhe der zwei Säulen, wenn das Gleichgewicht hergestellt ist. Diese verhalten sich verkehrt wie die Dichten der Flüssigkeiten (189). Doch gewährt dieses Verfahren bei weitem nicht die Genauigkeit des obigen.

202. Um die Dichte eines festen Körpers zu finden, sucht man sein absolutes Gewicht P und seinen Gewichtsverlust p im Wasser, oder wenn dieses ihn angreift in einer andern Flüssigkeit, deren Dichte d man bestimmt hat. Im ersten Falle ist die Dichte D des Körpers nach der Formel $D = \frac{P}{p}$, im zweiten nach der Formel $D = \frac{P}{p} \cdot d$ zu berechnen. Der Grund des Verfahrens liegt darin, daß man hier das Gewicht des Körpers und jenes der Flüssigkeit unter demselben Rauminhalte mit einander vergleicht. Gepulverte Körper wägt man auf einer gläsernen Schale, deren Gewicht und Gewichtsverlust in einer gegebenen Flüssigkeit schon vorläufig bekannt sind. Sollte der Körper specifisch leichter seyn als die Flüssigkeit, in der man ihn abwägen will; so spannt man ihn in eine Zange ein, und wägt ihn sammt derselben in der Flüssigkeit, schlägt aber nach der Hand vom gesammten Gewichtsverluste jenen der Zange ab.

Daß man bei der Anwendung der hydrostatischen Wage auf den Gewichtsverlust des Drahtes, auf die Temperatur des zu untersuchenden und des Hilfskörpers Rücksicht nehmen, und überhaupt die in 145 empfohlene Abwägungsmethode anwenden müsse, wenn die Resultate genau seyn sollen, versteht sich von selbst.

203. Es sind zwei Arten von Aräometern im Gebrauche, nämlich Aräometer mit Scalen, deren Gewicht stets unverändert bleibt, und Aräometer mit Gewichten, deren Belastung nach Bedürfniß geändert wird. Erstere dienen bloß zur Bestimmung der Dichten tropfbarer Körper; letztere eignen sich auch für feste Körper. Beide Arten beruhen auf den in 197 vorgetragenen Sätzen.

204. Ein Scalen-Aräometer ist eine cylindrische, am unteren Theile zuweilen in eine Erweiterung ausgehende geschlossene Röhre, Fig. 58, am besten von Glas, welche unten so belastet ist, daß sie im Wasser mit Stabilität schwimmt. Taucht man selbe in eine andere Flüssigkeit, so wird sie sich weniger oder mehr einsenken als im Wasser, je nachdem die Flüssigkeit dichter oder weniger dicht ist als letzteres. Es läßt sich an dem Instrumente eine Scala so anbringen, daß der an der Oberfläche der Flüssigkeit erscheinende Theilstrich die Dichte der Flüssigkeit anzeigt. Diese Scala ist gewöhnlich auf zwei Instrumente vertheilt, wovon eines für schwere, das andere für leichte Flüssigkeiten dient. Bei ersteren entspricht der Dichte des Wassers der höchste, bei den letzteren der tiefste Punct der Scale. Wo man eine große Schärfe des Resultates wünscht, da sind diese Instrumente freilich nicht zu empfehlen; wo man aber mit einer mäßigen Genauigkeit zufrieden ist, da sind sie äußerst bequem. Sie dienen aber nebstdem noch zu einem anderen Zwecke. Nämlich die Dichte vieler gemischten

Flüssigkeiten, z. B. des Weingeistes, der Säuren ꝛc. ändert sich mit der Menge eines oder des anderen Bestandtheiles so, daß man, wenn einmal für ein Mischungsverhältniß die Dichte durch vorläufige Erfahrungen gefunden ist, in Zukunft umgekehrt von dieser Dichte auf das Mischungsverhältniß schließen, und die Aräometer so einrichten kann, daß die Scale statt der Dichte die verhältnißmäßige Menge eines oder des anderen Bestandtheiles anzeigt. Man heißt solche Aräometer Procentenaräometer oder nach Verschiedenheit der Flüssigkeit, für welche sie bestimmt sind, Weingeist-, Salpetersäure-Aräometer u. s. w.

Bei der Verfertigung eines solchen Aräometers wird zuerst die bleibende Belastung des Instrumentes ausgemittelt, wobei dasselbe einstweilen eine provisorische Scale erhält. Man ändert nun die Belastung so, daß sich das Instrument im Wasser so weit einsenkt, als es sich ohne Aenderung der Belastung, also in seinem normalen Zustande, in eine Flüssigkeit von gegebener Dichte eingesenkt hätte, und bemerkt bis zu welchem Theilstriche der provisorischen Scale die Einsenkung erfolgt. Diesen Theilstrich überträgt man sodann mit der gehörigen Bezeichnung auf die bleibende Scale. So bestimmt man sich so viele Puncte der Scale, daß man, ohne der Genauigkeit Abbruch zu thun, die Zwischenstellen durch Theilung in gleiche Theile ausfüllen kann. Am Schlusse wird die gehörige Belastung des Aräometers wieder hergestellt. Um aber die Aenderung x der Belastung des Aräometers zu finden, mit deren Hülfe es sich im Wasser so stellt, wie es im normalen Zustande in einer Flüssigkeit von der Dichte D stehen würde, sey P das vorläufig durch wirkliche Wägung ausgemittelte bleibende Gewicht des Aräometers. Man sieht leicht, daß wenn das Aräometer, während es das Gewicht P + x hat, sich im Wasser so weit eintaucht, als mit dem Gewichte P in einer Flüssigkeit von der Dichte D, nothwendig ersteres Gewicht jenes des Wassers, das andere jenes der Flüssigkeit unter einerlei Volum, nämlich unter dem Volum des eingetauchten Theiles angibt; das Verhältniß dieser Gewichte ist also zugleich das Verhältniß der Dichten beider Flüssigkeiten, und daher besteht die Proportion: $P + x : P = 1 : D$, woraus $P + x = \frac{P}{D}$ und $x = P\left(\frac{1}{D} - 1\right)$ folgt. Hier fällt x positiv oder negativ aus, je nachdem $D < 1$ oder $D > 1$ ist, mithin ist im ersten Falle eine Gewichtsvermehrung, im anderen eine Gewichtsverminderung des Aräometers vorzunehmen, was schon für sich klar ist. Auf das hier Gesagte läßt sich auch ein einfaches Verfahren gründen, die Richtigkeit der Scala jedes fertigen Aräometers zu prüfen. Je empfindlicher ein Aräometer ist, ein desto größeres Volum nimmt es ein; meistens reicht die Scala eines Instrumentes für leichte Flüssigkeiten von 0.700 bis 1.000, für schwere von 1.000 bis 2.000; nur durch besondere Kunstgriffe kann man in einem Instrumente beide Scalen vereinigen, ohne seiner Empfindlichkeit Abbruch zu thun. (Zeitschr. neue Folge 2. 38.)

Die Erfindung der Scalenaräometer wird Archimedes zugeschrieben; bereits im 16. Jahrhunderte hatte man in Deutschland Salzspindeln im Gebrauche; in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts gab Boyle den Aräometern eine bessere Einrichtung. Die oben angedeutete einfache Methode zur Anfertigung der Scala aber hat erst in dem letzten Drittheil des vorigen Jahrhunderts Brisson gelehrt.

Man trifft häufig Aräometer, welche weder die Dichte, noch ein

bestimmtes Mischungsverhältniß unmittelbar angeben, sondern deren Scalen in meistens willkürliche Grade eingetheilt sind. Unter allen Instrumenten dieser Art haben die von Beaumé den meisten Zuspruch erhalten; es ist daher nothwendig, anzugeben, wie Beaumé seine Scale bestimmte. Dieses geschah auf zweifache Art, je nachdem er das Instrument für Flüssigkeiten anwenden wollte, die specifisch leichter oder schwerer sind, als Wasser. Um die Scale für erstere zu erhalten, tauchte er ein Gefäß, wie Fig. 58, dessen Spindel ab durchaus gleich dick war, in eine Auflösung von 10 Th. Kochsalz in 90 Th. Wasser, und fand so den untersten Punct der Scale, hierauf in destillirtes Wasser, um den zweiten höher liegenden Punct der Scale zu finden; den Zwischenraum theilte er in 10 gleiche Theile und setzte diese Eintheilung bis zum Ende der Röhre fort. Den Punct des destillirten Wassers bezeichnete er mit 10, und zählte von da auf- und abwärts, so weit es die Spindel des Aräometers erlaubte. Um die Scala für specifisch schwerere Flüssigkeiten zu bestimmen, tauchte er das Instrument in destillirtes Wasser, fand so den obersten Punct, hierauf in eine Auflösung von 15 Theilen Kochsalz und 85 Theilen Wasser, theilte den Abstand dieser zwei Puncte in 15 gleiche Theile, setzte zu jenem 0, und übertrug diese Eintheilung auf die ganze Spindel. Man sieht leicht ein, daß diese Instrumente gar keinen wissenschaftlichen Werth haben, jedoch kann man mittelst einer Tafel die Beaumé'schen Grade in Dichten verwandeln.

205. Aräometer mit Gewichten, von ihrem Erfinder Fahrenheit, auch Fahrenheit'sche genannt, unterscheiden sich von den Scalenaräometern dadurch, daß sie am oberen Ende eine Schale zur Auflegung der Gewichte, und an ihrem sehr dünnen Halse einen feinen Strich haben, bis zu welchem sie sich in jede zu untersuchende Flüssigkeit einsenken müssen. Beim Gebrauche muß man ein- für allemal wissen, wie viel das Instrument selbst wiegt und wie viel Gewicht man noch zulegen muß, damit die Einsenkung in reinem Wasser bis zum Zeichen am Halse erfolge. Es sey jenes P, dieses p. Will man die Dichte D einer Flüssigkeit finden, so senkt man das Instrument darein und legt so lange Gewichte zu, bis die Einsenkung gehörig weit geschieht. Heißt dieses Gewicht p', so ist

$$D = \frac{P + p'}{P + p}, \text{ weil } P + p : P + p' = 1 : D \text{ ist.}$$

Nicholson erweiterte den Gebrauch dieses Instrumentes dadurch, daß er es unten mit einer Schale versah (Fig. 59, a). Mohs bringt diese Schale mit Vortheil unmittelbar unter dem Halse an (Fig. 59, b). Ein so eingerichtetes Aräometer kann man auch zur Bestimmung der Dichte fester Körper brauchen, deren Gewicht das Aufleggewicht p nicht übertrifft. Senkt man nämlich das Instrument in reines Wasser, legt anfangs den zu untersuchenden Körper A sammt so viel Gewicht, als zur gehörigen Einsenkung nöthig ist, auf die obere Schale, nimmt dann A weg und setzt dafür Gewichte zu; so weiß man das absolute Gewicht von A. Nimmt man nun die zuletzt aufgelegten Gewichte wieder weg, legt A in die untere, im Wasser befindliche Schale; so werden die Gewichte, die zur gehörigen Einsenkung des Instrumentes nöthig sind, den Gewichtsverlust von A im Wasser anzeigen. Aus

dem absoluten Gewichte und dem Gewichtsverluste im Wasser findet man mittelst Division des ersteren durch letzteren die Dichte.

Ueber Aräometer siehe Meißner's Aräometrie in ihrer Anwendung auf Chemie und Technik. Wien, 1816. Baumgartner's Aräometrie für Chemisten und Technologen. Wien, 1820. Ungemein ausführlich handelt über Aräometrie das Repertorium für die Chemie als Wissenschaft und Kunst von Brandes. Hannover, 1827. 2. B. I. Abth. S. 552—630; wohl auch Gehler's phys. Wörterb. neu bearbeitet, und Liebig's und Poggendorff's Handwörterbuch der Chemie. Braunschweig, 1837.

206. Obgleich die einem streng wissenschaftlichen Gange am meisten zusagende Annahme der Einheit der Dichten diejenige zu seyn scheint, welche in 51 angegeben wurde, nämlich die Dichte des Wassers in seinem dichtesten Zustande, so geht man doch häufig davon ab, und hält es für bequemer, da die allgemein angenommene Normaltemperatur jene des Eispunctes ist, auch die Dichte des Wassers bei 0° C., in so fern es noch in vollkommen flüssigem Zustande sich befindet, als Einheit der Dichten gelten zu lassen. Folgende Tabelle bezieht sich auf die letzt genannte Einheit. Ein Wiener Kubikzoll Wasser wiegt bei 0° C. 250,537 W. Gran.

Tafel der Dichte einiger Körper.

Platin geprägt	21,343	Lava	2,795—2,823
» gehämmert	21,314	Serpentin	2,560—2,684
Platindraht	19,267	Kreide	1,797
Platinsand	15,601	Perlen	2,750
Gold gehämmert	19,361	Spiegelglas	2,370—2,450
» gegossen	19,258	Flintglas	3,15 —3,329
Quecksilber gefroren	15,612	Eis	0,885
» bei 0° R.	13,598	Buxbaumholz	1,33
Blei	11,352	Mahagonyholz	1,06
Silber gehämmert	10,511	Pflaumenholz	0,785
» gegossen	10,474	Birnbaumholz	0,755
Wismuth gegossen	9,822	Lindenholz	0,604
Kupfer gehämmert	9,000	Korkholz	0,240
Kupferdraht	8,878	Alkohol	0,791
Zinn, englisches, gegossen	7,291	Schwefeläther	0,717
Stahl	7,810—7,833	Bor	1,480
Schmiedeeisen	7,788	Phosphor	1,770—1,821
Roheisen	7,207—7,250	Schwefel	2,072
Zink gehämmert	7,861	Selen	4,300
» gegossen	7,190	Jod	4,948
Saphir blau	3,909	Flußsäure	1,061
Zirkon	4,416	Salzsäure conc.	1,200
Hyacinth	4,505	Chlorsäure	1,300
Topas	3,499	Salpetersäure	1,522
Granat edler	4,098—4,208	Schwefelsäure	1,850
» gemeiner	3,769	Phosphorsäure	2,687
Smaragd	2,678—2,775	Ammoniak flüss.	0,875
Bergkrystall	2,650—2,670	Kalihydrat	1,708
Glimmer	2,654—2,985	Natrumhydrat	1,536

207. Da sich die Dichte des Wassers mit der Temperatur ändert, so ist es bei genauer Bestimmung der Dichten und specifischen Gewichte der Körper unerläßlich, die Dichte und das specifische Gewicht des Wassers bei den möglicher Weise vorkommenden Temperaturen zu kennen. Folgende Tabelle stellt die von Prof. Stampfer nach der in 199 angedeuteten Methode aus sehr genauen Wägungen erhaltenen Resultate dar.

Dichte und specifisches Gewicht des Wassers.

Temperatur nach Réaum.	Volum.	Dichte.	Gewicht eines W. K. Zolles in W. Lothen.	Gewicht eines Kubikfußes in Pfunden.
— 3	1,000463	0,999537	1,043539	56,3511
2	1,000319	0,999681	1,043689	56,3592
1	1,000203	0,999797	1,043810	56,3658
0	1,000113	0,999887	1,043904	56,3708
+ 1	1,000050	0,999950	1,043970	56,3744
2	1,000012	0,999988	1,044010	56,3765
3	1,000000	1,000000	1,044023	56,3772
4	1,000012	0,999988	1,044010	56,3765
5	1,000047	0,999952	1,043972	56,3745
6	1,000106	0,999894	1,043911	56,3712
7	1,000187	0,999813	1,043827	56,3667
8	1,000289	0,999711	1,043720	56,3610
9	1,000413	0,999587	1,043591	56,3540
10	1,000558	0,999442	1,943440	56,3458
11	1,000723	0,999278	1,043268	56,3365
12	1,000906	0,999095	1,043077	56,3262
13	1,001108	0,998893	1,042866	56,3148
14	1,001329	0,998673	1,042636	56,3024
15	1,001567	0,998435	1,042388	56,2890
16	1,001822	0,998180	1,042122	56,2746
17	1,002095	0,997907	1,041839	56,2593
18	1,002384	0,997622	1,041539	56,2431
19	1,002687	0,997320	1,041223	56,2261
20	1,003005	0,997003	1,040893	56,2083
21	1,003338	0,996673	1,040549	56,1897
22	1,003685	0,996329	1,040190	56,1703
23	1,004045	0,995971	1,039816	56,1501
24	1,004418	0,995601	1,039429	56,1292
25	1,004804	0,995219	1,039031	56,1077
26	1,005202	0,994825	1,038620	56,0855
27	1,005612	0.994420	1,038197	56,0627
28	1,006032	0,994004	1,037763	56,0392
29	1,006462	0,993579	1,037319	56,0152
30	1,006902	0,993145	1,036865	55,9907
31	1,007353	0,992701	1,036402	55,9657
32	1,007813	0,992247	1,035928	55,9401

Ein W. Eimer (1,792 K. Fuß) Wasser hat daher bei 0° C. 101,016 W. Pfund; eine W. Maß 2 Pf. 16 Lth. 195 Gr.; bei 3° R., wo die Dichte dieser Flüssigkeit am größten ist, ein Eimer 101,028 W. Pfd.;

eine W. Maß 2 Pfd. 16 Lth. 197 Gr. Bei 20° R. beträgt dieses Gewicht für den Eimer nur 100,725 W. Pfd. und für die Maß 2 Pfd. 16 Lth. 139 Gr.

D. Gesetze des Gleichgewichtes tropfbarer Körper mit Rücksicht auf Molecularkräfte.

208. Taucht man ein enges Glasrohr in Wasser, so erhebt sich das Wasser im Rohre und steht zuletzt, wenn die innere Röhrenwand gehörig naß geworden ist, bedeutend höher als die Oberfläche der Flüssigkeit außerhalb des Rohres, und zwar um so höher, je geringer der Durchmesser des Rohres ist. Aehnliches zeigen auch andere Flüssigkeiten, die das Glas benetzen. Wird aber die innere Röhrenwand von der Flüssigkeit nicht benetzt, wie z. B. wenn man ein Glasrohr in Quecksilber einsenkt, oder wenn die innere Wand eines in Wasser getauchten Glasrohres mit einer Fettschichte überzogen ist, so hat die innere Flüssigkeit einen um so tieferen Stand unter der äußeren Oberfläche, je enger das Rohr ist. Diese Abweichung von dem in 187 aus der Verschiebbarkeit der Flüssigkeitstheilchen und ihrer Schwere abgeleiteten Gesetze des Gleichgewichtes tropfbarer Flüssigkeiten in Communicationsgefäßen zeigt, daß hier Kräfte, die dort nicht beachtet wurden, sich bemerklich machen. Diese sind offenbar die Einwirkung des Materiales des Rohres auf die Flüssigkeit, und der Zusammenhang der Theilchen der letzteren. Dieser Zusammenhang zeigt sich in dem Bestreben der Flüssigkeiten in kleinen Massen die sphärische Gestalt anzunehmen, d. i. Tropfen zu bilden; in Vereinigung mit der ersteren Action bestimmt er die Form der Oberfläche der Flüssigkeiten in der Nähe der Gefäßwände. Wasser, das sich in einem reinen Glase befindet, hat in der That keine durchaus ebene Oberfläche, sondern diese zieht sich an der Gefäßwand deutlich in die Höhe, und bildet eine ringförmige Einfassung. Eben so zeigt Quecksilber in einem Glase in der Nähe der Gefäßwand eine sich herabziehende Fläche, und eben dieses findet bei Wasser Statt, wenn die innere Glaswand mit Fett überzogen ist. Damit steht die allgemeine Erfahrung im Einklange, daß eine Flüssigkeit, die sich in einem engen Rohre über den äußeren Stand erhebt, daselbst eine stark vertiefte Oberfläche bildet, während diese convex ist, wenn ein entgegengesetzter Stand der Flüssigkeit im Rohre obwaltet. Man nennt derlei enge Röhren **Haarröhrchen**, wenn auch der Durchmesser ihrer Bohrung die Dicke eines Haares noch bedeutend übertrifft. Die an denselben sich kund gebenden Erscheinungen heißen daher **Capillaritätsphänomene**, welche Benennung man auch auf alle andern auf derselben Ursache, nämlich auf den Molecularkräften, beruhenden Phänomene des Gleichgewichtes tropfbarer Körper im Contact mit festen ausdehnt.

Die Unabhängigkeit des Verhaltens der Flüssigkeiten in Haarröhrchen von der Wanddicke, wenn nur der innere Durchmesser und das Material sowohl des Rohres als der Flüssigkeit ungeändert bleibt, wie auch der Umstand, daß die Erscheinungen ihren Charakter ändern,

wenn das Röhrchen von innen mit der dünnsten Fettschichte bekleidet ist, lehrt, daß die Distanz, auf welche sich die Einwirkung der Röhrenwand gegen die angrenzende Flüssigkeit erstreckt, unmeßbar klein ist.

209. Um die Kräfte, welche bei den Erscheinungen der Haarröhrchen ins Spiel treten, näher kennen zu lernen, sey ACDB Fig. 60. der Durchschnitt eines in Wasser vertical stehenden cylindrischen oder prismatischen Haarröhrchens, MN die ebene Oberfläche des äußeren Wassers, und AB die Oberfläche der im Röhrchen gehobenen Wassersäule. Da diese mit dem übrigen Wasser im Gleichgewichte steht, so muß auch, wenn man sich einen von dem unteren Ende CD des Rohres nach abwärts gehenden, dann horizontal und endlich aufwärts sich wendenden, und bis an die Wasserfläche in GH reichenden Canal von gleichem Querschnitt mit dem Rohre vorstellt, dessen Wände aus Wasser bestehen und der mit Wasser gefüllt ist, in der ganzen Wassermasse im Rohr und Canale für sich Gleichgewicht herrschen. Die Schwerkräfte, die auf das unter der Ebene MN befindliche Stück dieser Wassermasse wirken, heben sich nach 187 auf, und es bleibt nur noch das Gewicht der über MN im Rohre vorhandenen Wassersäule AEFB zu betrachten übrig, welches durch die Gesammtwirkung der hier thätigen Molecularkräfte getragen wird. Wegen des unmeßbar kleinen Bereiches dieser Kräfte kann man sich vorstellen, daß von dem Rohre unmittelbar nur eine an der inneren Wand anliegende Wasserröhre von äußerst geringer Wanddicke gehalten werde, welche wieder eine zweite in ihr steckende concentrische Wasserröhre hält, an der wieder eben so eine dritte hängt u. s. w., so daß also das Rohr nur mittelst dieser Zwischenkräfte die gesammte Wassersäule AEFB trägt. Die Kräfte, welche diese Säule aufwärts ziehen, sind: 1) die Anziehung, welche die ober AB befindliche Röhrenwand auf die angrenzenden Wassertheilchen ausübt; sie heiße P. 2) Die Anziehung, welche das untere Ende CD des Rohres auf die unter ihm stehende Wassersäule ausübt, und die sich durch das übrige Wasser bis zur Säule AEFB fortpflanzt. Sie hat offenbar denselben Werth P. Dagegen wird diese Säule abwärts gezogen: 1) durch ihr Gewicht Q; 2) durch die Anziehung, welche die unterhalb CD befindliche Wasserwand, die gleichsam die Fortsetzung der inneren Röhrenwand ist, gegen die über ihr stehende Säule äußert, und welche P′ heißen mag. Alle übrigen noch vorhandenen Anziehungen heben sich gegenseitig auf. So kann z. B. der Theil ACDB des Rohres gegen das in ihm eingeschlossene Wasser keine hebende oder hinabdrückende Kraft ausüben. Denn es ist kein Grund vorhanden, warum eher die eine als die andere Wirkung obwalten sollte. Ein Gleiches gilt auch von der Einwirkung der die Begrenzung des Canals CDHG bildenden Wassermasse auf das eingeschlossene Wasser. Das Gleichgewicht der Wassersäule AEFB wird also durch das Stattfinden der Gleichung

$$P + P = Q + P' \text{ oder } 2P - P' = Q$$

bedingt. Man kann die Kraft P als die Summe der Anziehungen betrachten, welche von unendlich vielen unendlich schmalen Verticalstrei-

sen, in die sich die innere Röhrenwand zerlegen läßt, auf das anliegende Wasser ausgehen, folglich jene Kraft dem Umfange des horizontalen Querschnittes dieser Wand proportional setzen, und ein Gleiches läßt sich auch von P' annehmen. Ist nun c der Umfang des genannten Querschnittes, so kann man $P = pc$, $P' = p'c$ setzen, wobei p, p' Factoren sind, die bloß von der Materie des Rohres und der Flüssigkeit, nicht aber von der Gestalt des inneren Querschnittes des Rohres abhängen. Nennen wir ferner den Flächeninhalt dieses Querschnittes a; die Höhe, welche die Säule EFBA haben würde, wenn sie ohne Aenderung ihrer Masse eine ebene Oberfläche bei AB hätte, h, und das specifische Gewicht des Wassers s, so ist das Gewicht der Säule AEFB nämlich $Q = ahs$. Obige Gleichung gibt daher

$$(2p - p')c = ahs \text{ woraus, } h = \frac{2p - p'}{s} \cdot \frac{c}{a}$$

folgt. Dieser Ausdruck paßt offenbar auch für jeden anderen tropfbaren Körper an der Stelle des Wassers, wenn unter s das specifische Gewicht des ersteren verstanden wird. Man sieht aus der hier für die Höhe h der Flüssigkeitssäule im Haarröhrchen gefundenen Formel, daß dieselbe nur dann einen positiven Werth erhält, also wirklich ein Aufsteigen der Flüssigkeit über ihre Oberfläche außerhalb des Rohres obwaltet, wenn $2p > p'$ ist, d. h. wenn die Anziehung der Flüssigkeitstheile unter einander weniger beträgt, als das Doppelte der Anziehung des Rohres gegen diese Theilchen. Wäre $2p = p'$, also erstere Anziehung der doppelten letzteren gleich, so ergäbe sich $h = 0$, d. h. die Flüssigkeit würde sich so verhalten, als ob keine Molecularwirkung vorhanden wäre. Für den Fall, wenn $2p < p'$ ist, d. h. wenn die Anziehung der Flüssigkeitstheilchen unter einander die doppelte Anziehung des Rohres gegen selbe übertrifft, erscheint h negativ, und es steht dann die Flüssigkeit im Haarröhrchen tiefer, als außer demselben.

210. Ist der Querschnitt des Rohres ein Kreis mit dem Durchmesser d, so ist $c = \pi d$ und $a = \frac{1}{4}\pi d^2$ also $\frac{c}{a} = \frac{4}{d}$ und daher, wenn man zur Abkürzung $\frac{4(2p - p')}{s} = A$ setzt, $h = \frac{A}{d}$. Für ein zweites solches Rohr von gleichem Materiale in der nämlichen Flüssigkeit hat A denselben Werth, mithin ist, wenn h', d' Größen derselben Art wie h, d anzeigen, $h' = \frac{A}{d'}$, also

$$h : h' = d' : d$$

Es verhalten sich also bei übrigens gleichen Umständen die Längen der gehobenen oder hinabgedrückten Säulen in cylindrischen Haarröhrchen von verschiedener Bohrung verkehrt wie deren Durchmesser, was mit der Erfahrung genau übereinstimmt, wie insbesondere mehrere von Hauy und Tremery mit Sorgfalt angestellte Versuche gezeigt haben.

Die Durchmesser solcher Röhrchen kann man sehr scharf dadurch bestimmen, daß man sie leer abwägt, hierauf eine beliebig lange Quecksil-

bersäule hineinbringt, wieder ihr Gewicht bestimmt, und so aus der Differenz beider Resultate das Gewicht p der hineingebrachten Quecksilbersäule findet. Hat die Säule die Länge l, so ist ihr Gewicht $\frac{1}{4}\pi d^2 l S = q$, wenn d den Durchmesser des Röhrchens und S das specifische Gewicht des Quecksilbers bedeutet. Mithin ist

$$d = 2\sqrt{\frac{q}{\pi l S}}.$$

211. Es sey der Querschnitt eines prismatischen Röhrchens ein Rechteck, und zwar b die Breite, d die Dicke des Rohres, so ist $c = 2(b+d)$ und $a = bd$, mithin $\frac{c}{a} = \frac{2(b+d)}{db} = 2\left(\frac{1}{d}+\frac{1}{b}\right)$, also wenn A die vorige Bedeutung beibehält,

$$h = \tfrac{1}{2}A\left(\frac{1}{d}+\frac{1}{b}\right).$$

Setzt man an die Stelle eines solchen Rohres zwei ebene einander parallele Platten, deren Abstand $= d$ ist, so erscheint in diesem Ausdrucke b in Bezug auf d unendlich groß, also $\frac{1}{b}$ gegen $\frac{1}{d}$ unendlich klein, und es kann ersterer Bruch vernachläßiget werden. Hier wird demnach

$$h = \frac{A}{2d}.$$

Vergleicht man dieses Resultat mit dem für ein cylindrisches Haarröhrchen erhaltenen, so sieht man, daß die Höhe der zwischen zwei parallelen Platten gehobenen oder hinabgedrückten Flüssigkeitssäule die Hälfte derjenigen ist, die ein cylindrisches Röhrchen von gleichem Material, dessen Dicke dem Abstande der Platten gleich kommt, darbietet, ein Satz, der bereits von Newton als ein Ergebniß der Erfahrung bemerkt wurde.

212. Betrachten wir wieder ein Haarröhrchen ACDB (Fig. 61), in welchem eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, höher steht als außerhalb des Rohres. Man denke sich von dem tiefsten Puncte o der concaven Wasserfläche AB im Röhrchen angefangen eine äußerst dünne Wassersäule OKUL zuerst abwärts, dann unterhalb des Rohres seitwärts und zuletzt aufwärts gehend, und an der äußeren Wasserfläche bei L sich endigend. Da in dieser Säule Gleichgewicht herrscht, aber der Theil KUL, in so fern er bloß von der Schwere afficirt wird, für sich im Gleichgewichte steht, so muß das Gewicht der über die äußere Wasserfläche gehobenen Säule OK durch die bloße Action der Molecularkräfte des Wassers getragen werden, denn die Anziehung der Röhrenwand reicht, wie bereits oben gezeigt worden ist, bei weitem nicht bis in die Mitte des Rohres. Es ist interessant einzusehen, auf welche Weise die Molecularanziehung des Wassers diesen Effect hervorbringt, zu welchem Behufe wir in eine genauere Betrachtung des Zusammenwirkens der die Molekel der tropfbaren Flüssigkeiten beherrschenden Kräfte eingehen wollen.

213. Untersuchen wir zunächst, welche Einwirkung irgend ein Molekel A, Fig. 62, das sich im Innern eines tropfbaren Körpers befin-

det, von seiner Umgebung erfährt. Die Gesammtheit der Erscheinungen, welche uns tropfbare Körper darbieten, führt zur Annahme, daß die zunächst A stehenden Molekel darauf abstoßend, die entfernteren darauf anziehend wirken, welche letztere Wirkung aber in einer sinnlich wahrnehmbaren Distanz bereits keine merkliche Größe mehr hat. Beide Kräfte sind nur als Unterschiede zwischen der unmittelbaren Abstoßung und Anziehung der Molekel zu betrachten, wovon in kleineren Distanzen die erstere, in größeren die letztere das Uebergewicht hat. Es sey AB die größte Distanz, auf welche sich die Abstoßung, und AC diejenige, auf welche sich die Anziehung erstreckt. Beschreibt man nun A als Mittelpunct mit den Halbmessern AB, AC Kugelflächen, so wirkt auf A jedes innerhalb der ersteren Fläche liegende Molekel, z. B. x abstoßend, jedes außerhalb derselben, aber noch innerhalb der größeren Kugelfläche liegende, z. B. y anziehend. Man kann daher den Raum, welchen die kleinere Kugelfläche umschließt, die Sphäre der Abstoßung, und den Raum zwischen beiden Kugelflächen die Sphäre der Anziehung nennen. Ist die Entfernung des Theilchens A von jedem Puncte der Oberfläche MN der Flüssigkeit größer als der Halbmesser der Anziehungssphäre, und hat die Flüssigkeit im Bereiche dieser Sphäre einerlei Dichte, eine Voraussetzung, die ohne merklichen Fehler gemacht werden darf, wenn A der Oberfläche nicht zu nahe liegt, so tilgen sich sämmtliche von den Theilchen, welche A umgeben, auf dasselbe ausgeübte Kräfte; denn zu jedem Molekel, wie x oder y läßt sich, wenn man xA oder yA verlängert und $x'A = xA$ oder $y'A = yA$ nimmt, ein zweites Molekel, nämlich x' oder y' angeben, welches auf A nach gerade entgegengesetzter Richtung und mit derselben Stärke einwirkt, wie x oder y. Fassen wir jetzt ein Theilchen A ins Auge, dessen Entfernung von den Puncten eines Stückes HK der Oberfläche MN der Flüssigkeit kleiner ist, als der Halbmesser der anziehenden, aber größer als der Halbmesser der abstoßenden Sphäre (Fig. 63). Hier wird die Sphäre der Anziehung von der Oberfläche der Flüssigkeit in HK begrenzt, und das Stück HLK der genannten Sphäre ist also entweder leer, oder doch mit andern, oder wenigstens mit anders angeordneten Molekeln (mit Luft oder mit Dünsten) erfüllt. Wir wollen der Einfachheit wegen es so nehmen, als ob der Raum oberhalb MN leer wäre, auch wollen wir der Flüssigkeit durchgehends einerlei Dichte beilegen; es ist leicht einzusehen, wie die folgenden Schlüsse abzuändern sind, wenn Eines oder das Andere nicht Statt findet. Denkt man sich von allen Puncten der Fläche HK durch A gerade Linien gezogen, und dieselben eben so weit über A hinaus verlängert, als die Längen dieser Linien betragen, so bestimmen die Endpuncte sämmtlicher Verlängerungen eine Fläche H'K', welche von der Anziehungssphäre des Theilchens A ein Stück H'L'K' herausschneidet, worin Molekel erscheinen, deren Anziehung gegen A, weil HLK leer ist, nicht getilgt wird, während die Actionen aller innerhalb des Raumes HKH'K' befindlichen Molekel auf A sich gegenseitig aufheben. Das Theilchen A wird also von der Gesammtheit der Theilchen

in H′L′K′ abwärts gezogen. Entspricht der Fläche HK und folglich auch der Fläche H′K′ eine durch A gehende Axe der Symmetrie, z. B. LAL′, so hat die Resultirende aller dieser Anziehungskräfte die Richtung AL′. Ist die Entfernung des Theilchens A von der Oberfläche der Flüssigkeit nur um wenig geringer als der Halbmesser der Sphäre der Anziehung, so erscheint H′L′K′ klein, enthält daher weniger und dazu noch von A in größerer Distanz stehende Theilchen; die von denselben herrührende A abwärts ziehende Kraft ist also auch schwächer; rückt A der Oberfläche näher, so wird diese Kraft stärker, bis endlich auch ein Stück der Sphäre der Abstoßung über die Oberfläche der Flüssigkeit emporragt (Fig. 64), und in Folge dessen sich zu den Molekeln, welche A herabziehen, auch solche gesellen, die entgegengesetzt wirken, nämlich die in H″L″K″ enthaltenen; dadurch verringert sich die Kraft, womit das Theilchen A von den tiefer stehenden Molekeln herabgezogen wird, wieder um so mehr, je näher ersteres der Oberfläche der Flüssigkeit steht, und kann sogar die entgegengesetzte Richtung annehmen, d. h. es können die Theilchen an der Oberfläche einer Flüssigkeit von den darunter liegenden abgestoßen werden. Die Erfahrung bestätiget die Richtigkeit dieser Ansicht durch das Factum der Verdünstung, welche gewisse tropfbare Stoffe, z. B. Wasser bei allen Temperaturen, andere z. B. Schwefelsäure, Quecksilber bei nicht zu niedrigen Temperaturen zeigen. Aus dem Gesagten erhellet also, daß zunächst unter der Oberfläche der Flüssigkeit sich eine Schichte von unmerklicher Dicke (diese ist nämlich geringer als der Halbmesser der Molecularanziehung) befindet, deren Theilchen von den darunter liegenden herabgezogen werden, während in tieferen Schichten sich keine solche Wirkung kund gibt; die erstere Schichte hat in vielen Fällen sogar noch eine über sich, deren Theilchen nach aufwärts getrieben werden, und sich, wenn kein Gegendruck vorhanden ist, von der Oberfläche wirklich entfernen. Diese letztere Schichte übt auf die Erscheinungen der Haarröhrchen einen nur äußerst geringen Einfluß aus, weßhalb wir von selber abstrahiren, und lediglich die geringe Schichte nächst der Oberfläche im Auge behalten, worin sich der abwärts gerichtete Druck, den die Flüssigkeit in Folge der gesammten Molecularanziehung aller Theile gleichsam auf sich selbst ausübt, kund gibt. Eben so setzen wir die Verschiedenheit der Dichte bei Seite, die an der Oberfläche nothwendiger Weise obwaltet, wo die Dichte sich sehr rasch ändert, bis sie in die im Innern der Flüssigkeit bestehende übergeht.

Offenbar muß jede unendlich dünne Schichte im Innern eines tropfbaren Körpers durch die aus der Gesammtwirkung der Abstoßung der unmittelbar angrenzenden und aus der Anziehung der etwas entfernteren Theile entspringende Kraft zusammengedrückt werden, und man kann sich die Sache so vorstellen, als wenn sich die genannte Schichte an die einerseits befindliche Flüssigkeit anstemmte und von der andererseits gelegenen comprimirt würde. Die Größe der Compression hängt natürlich von der drückenden Kraft ab. In hinreichender Entfernung von der freien Oberfläche der Flüssigkeit und von den Wänden des Gefäßes hat die drückende Schichte eine Dicke, welche dem Halbmesser der Wir-

kungssphäre der kleinsten Theile gleich ist, und die Compression ist demnach für alle Schichten gleich groß, welche eine solche Lage haben, wenn man von der geringen Compression, die von der Schwere herrührt und sich mit der Entfernung von der Oberfläche ändert, absieht. Man kann daher annehmen, im Inneren einer flüssigen Masse seyen alle Theile in einem gleichen Zustande der Compression. Die an der Oberfläche befindlichen Theile sind entweder gar nicht, oder doch nicht mehr zusammengedrückt, als es der etwa vorhandene und zum Fortbestehen des flüssigen Zustandes oft sogar nöthige äußere Druck mit sich bringt. Die zunächst unter der Oberfläche liegenden erleiden durch die oberflächlich liegenden schon eine geringe Compression, die noch tiefer einwärts liegenden eine noch größere, und so kommt es, daß die Dichte der Flüssigkeit von außen nach innen bis zu einer allerdings nur sehr geringen Tiefe nach einem uns unbekannten Gesetze zunimmt. In der Nähe der Gefäßwände ist die Dichte der Flüssigkeit aus ähnlichen Gründen von der im Inneren verschieden. Wirken diese Wände nicht auf die flüssigen Theile, so verhalten sich die letzteren so wie an der freien Oberfläche, wirken sie auf die Flüssigkeit, so modificiren sie das Gesetz der Dichte und können sogar durch ihre Anziehung bewirken, daß die Dichte von der Wand nach einwärts bis zu einer gewissen Entfernung abnimmt, und die Theile der an der Wand anliegenden Schichte ihre große Verschiebbarkeit verlieren. Taucht man z. B. einen Glasstab in Wasser, so bleibt beim Herausziehen daran eine zwar an und für sich sehr dünne, aber gegen den Halbmesser der Wirkungssphäre der Theile doch noch sehr dicke Schichte der Flüssigkeit hängen, und erhalt sich, wenn man auch dem Stabe eine verticale Richtung gibt, wo doch sehr leicht verschiebbare Theile durch den Zug der Schwere zum Hinabgleiten bestimmt werden müßten. Selbst an der freien Oberfläche sind die Theile wegen der nach einwärts sich ändernden Dichte nicht so verschiebbar wie im Inneren, wo rings um jedes Theilchen alles gleich ist, und es verhält sich daselbst die Flüssigkeit so, als wäre sie mit einem feinen Häutchen überzogen Daher kommt es auch, daß selbst kleine Körper, die specifisch schwerer sind als Wasser, wie feine Bleche, Nadeln rc auf demselben schwimmen, so lange sie nicht übernetzt sind und sich nicht gleichsam unter dem oberflächlichen Häutchen befinden; so wie aber eine Uebernetzung eingetreten ist, fallen sie schnell in der Flüssigkeit zu Boden.

214. Die Richtung des Druckes, den ein tropfbarer Körper an jedem einzelnen Puncte seiner Oberfläche in Folge der Molecularanziehung auf sich selbst ausübt, ist im Zustande des Gleichgewichtes gegen diese Fläche nothwendig normal; seine Größe hängt, außer der Energie der Molecularkräfte, noch von der Gestalt der Oberfläche ab, und zwar ist er bei einer concaven Oberfläche geringer als bei einer ebenen, und bei dieser wieder geringer als bei einer convexen. Um dieß nachzuweisen, sey HK (Fig. 65) die concave Oberfläche einer Flüssigkeit, H′K′ eine tangirende Ebene zum Puncte O derselben, also die auf H′K′ senkrechte Oz die Richtung des Zuges, den die an HK grenzende Schicht nach einwärts erleidet. Denken wir uns Oz als Axe einer unendlich dünnen Flüssigkeitssäule, und wählen wir in ihr einen Punct A, dessen Abstand von O geringer ist, als der Halbmesser der Sphäre der Molecularanziehung. Von dieser Sphäre schneidet die concave Fläche HK das Stück $\alpha O \beta$ und die Ebene H′K′ das Stück $\gamma O \delta$ ab. Nehmen wir in Oz den Punct O′ so, daß AO′ = AO,

legen wir durch denselben die Ebene h′k′ mit H′K′ parallel und an selbe eine Fläche hk, deren Puncte bezüglich des Punctes A gegen die Puncte der Fläche HK eine gerade entgegengesetzte Lage haben, so sieht man, daß das in A befindliche Theilchen, wenn HK die Oberfläche der Flüssigkeit ist, nur von den in aO′bL′, wenn aber die Flüssigkeit durch H′K′ begrenzt wird von den in cO′dL′ enthaltenen Theilchen, also da die Menge dieser Theilchen größer ist, als im vorhergehenden Falle, auch mit einer größeren Kraft abwärts gezogen wird. Ein Gleiches läßt sich von jedem andern Puncte in der Oz zeigen, dessen Abstand von O in den Bereich der Molecularaction fällt, und ähnliche Betrachtungen finden, nur mit entgegengesetzter Stellung der Ausschnitte $\alpha\beta$, $\alpha'\beta$ (Fig. 66), auch in dem Falle Statt, wenn die Flüssigkeit eine convexe Oberfläche hat, daher ist die Richtigkeit obiger Behauptung erwiesen.

215. Hieraus ergibt sich sogleich die Folgerung, daß wenn die Oberfläche einer Flüssigkeit innerhalb eines Haarröhrchens concav und außerhalb desselben eben ist, im Zustande des Gleichgewichtes jene höher stehen muß als diese. Es übersteigt nämlich die Kraft, mit welcher die Flüssigkeit an der ebenen Oberfläche abwärts gezogen wird, die Kraft, welche die Flüssigkeit innerhalb des Rohres auf sich selbst ausübt; im Canale OKUL (Fig. 61) kann daher nur in so fern Gleichgewicht bestehen, als eine Flüssigkeitssäule OK, deren hydrostatischer Druck dem Ueberschusse des Zuges abwärts bei L über den Zug bei O entspricht, auf der letztern Seite über die Ebene MN gehoben erscheint. Aus gleichem Grunde fordert eine convexe Oberfläche der Flüssigkeit im Haarröhrchen, wenn die äußere Oberfläche eben ist, zur Erhaltung des Gleichgewichtes einen tieferen Stand als diese. Wäre die Oberfläche innerhalb und außerhalb des Röhrchens eben, so fiele der Unterschied des Flüssigkeitsstandes weg.

216. Die Ebenheit der Oberfläche eines ruhenden tropfbaren Körpers wird in der Nähe der Gefäßwände durch den Conflict der Anziehung letzterer gegen die Flüssigkeitstheile mit der eigenen Molecularaction dieser Theile gestört. Es läßt sich leicht angeben, wovon die concave oder convexe Anordnung der Flüssigkeit nächst der Gefäßwand abhängt. Es sey (Fig. 67) AN die Oberfläche eines an die verticale Wand HK angrenzenden tropfbaren Körpers. Denken wir uns diese Oberfläche für einen Augenblick eben und horizontal, und sehen wir auf die Molecularkräfte, welche ihre Theilchen in der Nähe von A beherrschen. Sie sind 1) die Action der Flüssigkeit auf sich selbst, 2) die Action der Wand gegen die Flüssigkeit. Es ist leicht einzusehen, daß die durch die Ebenen AN, AK begrenzte Flüssigkeit auf A eine nach AE, der Halbirungslinie des Winkels KAN, gerichtete Totalkraft ausübt; ferner daß die Kraft, womit die Wand HK auf A wirkt, die Richtung AM hat. Die Resultirende beider ist die Kraft, welche das Verhalten der Flüssigkeit bei A bestimmt. Fällt die Richtung dieser Resultirenden innerhalb des Winkels MAK z. B. nach Ax, so nimmt die Oberfläche der Flüssigkeit, welche sich stets so zu stel-

len strebt, daß die Kraft, der sie unterliegt, gegen selbe normal gerichtet ist (180), offenbar eine concave Gestalt an; fällt aber die Richtung erwähnter Resultirenden innerhalb des Winkels NAK z. B. nach Ay, so erhält die Oberfläche der Flüssigkeit eine convexe Gestalt. Sie bleibt eben, wenn diese Resultirende gerade die Richtung AK bekommt. Um die Bedingung näher kennen zu lernen, unter welcher der eine oder der andere Fall eintritt, zerlege man die nach AE wirkende Kraft in zwei nach den Richtungen AN und AK wirkende Componenten, und verbinde die erstere Componente mit der nach AM gerichteten Kraft, welche die Wand HK gegen die Flüssigkeit äußert. Je nachdem hiebei der Ausschlag nach AM oder nach AN erfolgt, wird die Richtung der Resultirenden aller Kräfte (welche man durch Zusammensetzung dieses Unterschiedes der auf HK senkrechten Kräfte mit der nach AK wirkenden Componente erhält) innerhalb des Winkels MAK oder NAK liegen. Heben sich die beiden auf HK senkrechten Kräfte auf, so bleibt die Oberfläche der Flüssigkeit eben. Die aus der Action der Flüssigkeit auf sich selbst nach AN entspringende Componente ist die Hälfte der Kraft, welche eine mit ebener Oberfläche versehene Flüssigkeit fern vom Einflusse einer Gefäßwand auf sich selbst ausübt. In der That, wäre auch noch der Flächenwinkel HAN mit Flüssigkeit erfüllt, so käme die von dieser Flüssigkeit herrührende, nach AE gerichtete Action zu der bereits vorhandenen, nach AE wirkenden hinzu; zerlegt man erstere nach AH und AN, so heben sich die längs HK wirkenden Componenten auf, und die zwei gleichen nach AN gerichteten geben die Action der durch die Ebene HK begrenzten Flüssigkeit auf sich selbst. Nennen wir nun diese Action P′ und bezeichnen wir durch P die nach AM gerichtete Action der Wand HK auf A, so hängt die Gestalt der Oberfläche, welche die Flüssigkeitsmasse KAN annimmt, von dem Zeichen ab, welches der Differenz $P - \frac{1}{2}P'$ zu Theil wird. Diese Oberfläche wird concav, wenn $P > \frac{1}{2}P'$, convex, wenn $P < \frac{1}{2}P'$, und sie bleibt plan, wenn $P = \frac{1}{2}P'$ ist. Diese Resultate stimmen mit den in 209 erhaltenen vollkommen überein. Auch ist klar, daß wenn $P > \frac{1}{2}P'$ ist, die Wand von der Flüssigkeit benetzt wird.

Befindet sich eine tropfbarflüssige Masse frei in einem Raume, und nebst einem von allen Seiten gleichen äußeren Drucke lediglich ihrer Molecularaction überlassen, so müssen sich alle Theile so ordnen, daß die Wirkung jeder Kraft durch eine gleiche Gegenwirkung aufgehoben wird. Dieses kann aber nur seyn, wenn die Masse die Gestalt einer Kugel hat. Sobald diese Masse auch noch von andern Kräften afficirt wird, so verliert sie die Kugelform desto mehr, je mehr diese Kräfte gegen die den Theilchen der Flüssigkeit eigenen vorwalten. Deßhalb erscheinen uns auch kleine tropfbare Massen in Gestalt kugelförmiger Tropfen, verlieren aber diese Gestalt, sobald sie auf einen Körper kommen, zu dem sie eine Adhäsion haben, oder sobald durch zu große Anhäufung der Masse der Druck der oberen Theile die unteren zu einer Seitenbewegung zwingt.

217. Man stelle sich durch Oz (Fig. 68) nach allen Seiten Ebenen gelegt vor, welche die krumme Oberfläche der Flüssigkeit im Allge-

meinen in krummen, einander in O durchkreuzenden Linien Aa, Bb, Cc ꝛc. schneiden. Zu jeder dieser Linien denke man sich einen, dieselbe in O berührenden Kreis (Fig. 69), dessen Lauf an dieser Stelle dem Laufe der krummen Linie näher kommt, als der irgend eines andern Berührungskreises. Man betrachtet die Krümmung eines solchen Kreises als diejenige, welche die krumme Linie im Puncte O hat, und nennt ihn deßwegen den diesem Puncte entsprechenden Krümmungskreis. Unter allen hier betrachteten krummen Linien wird in O eine am stärksten, eine andere am schwächsten gekrümmt seyn, d. h. am Puncte O ersterer der kleinste, letzterer der größte Krümmungshalbmesser entsprechen. Es läßt sich beweisen, daß die Ebenen, welche die Oberfläche der Flüssigkeit in diesen zwei krummen Linien schneiden, auf einander senkrecht stehen, es wäre denn, daß die Oberfläche wellenförmige Erhöhungen und Vertiefungen hätte, ein Fall, der hier gar nicht in Betrachtung kommen kann. Es sey nun r der kleinste und r' der größte dieser Krümmungshalbmesser, und Q der auf die Flächeneinheit als Basis bezogene Druck, den die Flüssigkeit bei O in Folge der Molecularanziehung ihrer Theile auf sich selbst ausübt, so besteht, wie Laplace durch höheren Calcul gezeigt hat, die Formel

$$Q = H \mp K \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right),$$

wobei H und K positive Größen sind, deren Werthe durch die besondere Beschaffenheit der Flüssigkeit bestimmt werden, und für eine concave Oberfläche derselben vor dem zweiten Gliede das obere, für eine convexe das untere Zeichen zu nehmen ist. Für eine ebene Oberfläche hat man $r = r' = \infty$, also $\frac{1}{r} = \frac{1}{r'} = 0$ und demnach $Q = H$. Ist die Oberfläche der Flüssigkeit sphärisch, was bei einem cylindrischen Haarröhrchen von kreisförmigem Querschnitte Statt findet, oder allgemeiner gesprochen, kann sie durch Umdrehung einer krummen Linie um eine durch den Punct O gehende Axe entstehen, so hat man $r = r'$ zu setzen, und daher wird $Q = H \mp 2K . \frac{1}{r}$; ist sie cylindrisch, wie es bei einer zwischen zwei ebenen Platten enthaltenen Flüssigkeit sich ergibt, so ist $r' = \infty$, d. h. $\frac{1}{r'} = 0$ und daher $Q = H \mp K . \frac{1}{r}$.

Die Stellung einer Flüssigkeit in einem Haarröhrchen wird, wie aus dem Vorhergehenden hinreichend erhellet, durch den Betrag der Differenz $H - Q = \pm K \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$, d. i. durch den Ueberschuß der Molecularaction an der äußeren, planen Fläche der Flüssigkeit über die an der Oberfläche im Haarröhrchen bestimmt, und es muß also, wenn wie früher h die Höhe der gehobenen Säule und s das specifische Gewicht der Flüssigkeit anzeigt, da hier der Druck stets auf dieselbe Basis, nämlich auf die Flächeneinheit bezogen wird, die Gleichung

$$hs = \pm K \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right) \text{ oder } h = \pm \frac{K}{s} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$$

Statt finden, mithin für ein cylindrisches Haarröhrchen $h = \pm \frac{2K}{sr}$, für zwei ebene parallele Platten $h = \pm \frac{K}{sr}$ seyn. Der Winkel, welchen die tangirende Ebene der an eine feste Wand grenzenden Flüssigkeitsfläche mit der Wand macht, hängt nicht von der Gestalt der Wand, sondern nur von dem Material derselben und der Beschaffenheit der Flüssigkeit ab, daher hat r unter übrigens gleichen Umständen zum Durchmesser des cylindrischen Haarröhrchens oder zur Distanz der Platten ein constantes Verhältniß. Man kann also, wenn d diesen Durchmesser oder diese Distanz bedeutet, $r = md$ setzen, wobei m der Exponent des erwähnten Verhältnisses ist. Auf diese Weise wird, wenn man noch A statt $\frac{2K}{sm}$ schreibt, in dem einen Falle

$h = \frac{A}{d}$, in dem andern $h = \frac{A}{2d}$ wie in 210 und 211.

218. Aus der Verschiedenheit der Action einer Flüssigkeit auf sich selbst nach Maßgabe der Gestalt ihrer Begrenzung erklärt sich auch die auffallende Erscheinung, daß zwei ebene Platten HJ, KL (Fig. 70), zwischen welchen eine tropfbare Flüssigkeit über ihren äußeren Stand MN bis AB sich erhoben hat, gegen einander gezogen werden, und wenn sie frei beweglich sind, sich wirklich gegen einander bewegen. Betrachten wir nämlich eine Flüssigkeitssäule, welche von O, der tiefsten Stelle der concaven Oberfläche der Flüssigkeit innerhalb der Platten, bis E herabgeht und dann seitwärts bis zu dem noch oberhalb der äußeren Oberfläche der Flüssigkeit liegenden Puncte F der beweglichen Wand KL fortschreitet. Das eine Ende O dieser Säule wird schwächer herabgezogen als das Ende F einwärts nach FE, weil die Flüssigkeit am ersteren concav, am letzteren plan ist, und zwar übertrifft der letztere Zug den ersteren um eine Kraft, welche dem hydrostatischen Drucke der Säule OG, die über die Ebene MN gehoben erscheint, gleich kommt. Mit dem Zuge bei O herab vereinigt sich nur der hydrostatische Druck der Säule OE, so daß bei F die freie Wirksamkeit einer einwärts ziehenden Kraft übrig bleibt, deren Stärke dem hydrostatischen Drucke der Säule EG gleich ist. Es wird also jeder Punct der Wand KL, der über MN liegt und zugleich mit Flüssigkeit im Contacte ist, um so stärker einwärts getrieben, je höher er liegt. Alle Stellen der Wand KL unter der Ebene MN aber, die von beiden Seiten mit Flüssigkeit in Berührung sind, z. B. U, erleiden auch von beiden Seiten gleichen Druck, denn die Molecular-Actionen bei O und V geben mit den hydrostatischen Effecten der Säulen OR und VS beiderseits gleiche Summen, und die Molecular-Actionen bei U heben einander auf. Daß zwei Platten, innerhalb welchen die Flüssigkeit einen tieferen Stand hat, als außerhalb, von der höher stehenden äußeren Flüssigkeit gegen einander gedrückt werden, ist für sich klar.

Die Capillarität modificirt daher den Druck, welchen schwimmende, aber nicht ganz eingetauchte Körper von der umgebenden Flüssigkeit erlei-

den; denn es gehen aus der Capillarität zwei horizontal wirkende Kräfte hervor, und suchen eine Bewegung im horizontalen Sinne zu erzeugen. Dieses bemerkt man an leichten schwimmenden Körpern, welche in die Nähe des Gefäßrandes kommen. Auch die Bewegung zweier in einer Flüssigkeit schwimmenden Kugeln gehört hieher, die sich anzuziehen scheinen, wenn sie beide von der Flüssigkeit benetzt werden oder beide trocken bleiben, hingegen abzustoßen, wenn eine benetzt wird, die andere nicht. (Vergl. S 35.)

219. Die hier vorgetragene Theorie läßt sich auch noch auf andere Erscheinungen anwenden, die mit denen im Haarröhrchen verwandt sind; ja sie gibt von ihnen nicht bloß allgemeine Erklärungen, sondern sie bestimmt sie dem Maße nach. Mit Leichtigkeit ersieht man aus ihr den Grund folgender Erscheinungen: Taucht man ein gläsernes Röhrchen in Wasser oder in Weingeist, zieht es dann heraus und hält es vertical, damit sich unten ein Tropfen bilde, so hat die darin befindliche, schwebend erhaltene Säule eine doppelt so große Länge, als diejenige, welche sich im Röhrchen erhebt, wenn es mit einem Ende in der Flüssigkeit stehen bleibt. Es ist nämlich die aufwärts wirkende Molecularaction an der unteren convexen Flüssigkeitsfläche gerade um das Gewicht der schwebenden Säule größer, als die abwärts gerichtete Action an der oberen concaven Fläche. Gießt man Wasser in eine Communicationsröhre, wovon ein Arm ein Haarröhrchen bildet, so steht natürlich die Flüssigkeit in diesem höher, als im anderen weiteren Arme. Neigt man nun die Röhre nach der Seite des Haarröhrchens hin, so nimmt der Höhenunterschied in beiden Armen beständig ab, so wie die flüssige Säule, vermög der Reibung an den Wänden, eine minder concave Oberfläche annimmt. Ist der enge Schenkel kürzer als der weite, so kann man in letzterem Flüssigkeit so zugießen, daß sie dort einen höheren Stand bekommt, als im engen Schenkel; aber dann ist der enge Schenkel ganz gefüllt, und die Flüssigkeit zeigt an seinem Ende eine convexe Fläche, an der die Action der darunter liegenden Molekel den Ueberschuß des hydrostatischen Druckes auf der andern Seite compensirt. Stellt man zwei reine Glastafeln unter einem sehr spitzigen Winkel zusammen, und taucht sie so, daß ihre Vereinigungslinie vertical steht, in Wasser, so erhebt sich dieses, und die Endpuncte der gehobenen Masse bilden eine Hyperbel. Hält man ein conisches, beiderseits offenes Röhrchen so, daß seine Axe horizontal liegt, und läßt bei der größeren Oeffnung eine kleine Säule von Wasser hinein, so bewegt sich diese Säule gegen die kleinere Oeffnung zu, und man muß die Axe des Röhrchens etwas gegen den Horizont neigen, um den Tropfen im Steigen zu hindern. Es sind nämlich hier die concaven Flächen an beiden Enden der Flüssigkeitssäule ungleich gekrümmt, und daher ist auch die Molecularaction an ihnen verschieden, weßwegen der Action an dem engeren Ende der hydrostatische Druck der Flüssigkeit zur Herstellung des Gleichgewichtes zu Hülfe kommen muß. Es läßt sich hier sogar der hiezu nöthige Neigungswinkel des Röhrchens berechnen. Ja selbst zwischen der Höhe der Flüssigkeitssäule, die in einem Haarröhrchen von bestimmtem Durchmesser gehoben wird, und zwischen

der Kraft, welche eine Platte von gegebener Größe aus dem Materiale des Röhrchens von der Oberfläche dieser Flüssigkeit losreißt, findet eine so genau darstellbare Beziehung Statt, daß sich diese Kraft berechnen läßt, sobald jene Höhe gegeben ist.

In die Reihe der Capillaritätsphänomene scheinen auch jene zu gehören, welche Dutrochet mit dem Namen Endosmose und Exosmose belegt hat, und die im Wesentlichen darin bestehen, daß zwei verschiedene Flüssigkeiten, welche durch eine dünne, durchdringliche Scheidewand, z. B. durch eine Blase, von einander getrennt sind, durch diese Scheidewand in zwei entgegengesetzten Strömen mit einander in Communication treten, so daß eine der zwei Flüssigkeiten, und zwar diejenige, welche in einem Haarröhrchen am meisten gehoben wird, über ihr Niveau emporsteigt. (Dutrochet in Pogg. Ann. 11. 138, 28. 359. Poisson ebend. 134. Fischer ebend. 126. Schweigger in Schweigger's J. 58. 1. Wach ebend. 58. 20.) Als bloße Haarröhrchenwirkung hat man, nebst den bereits S. 35 angeführten Erscheinungen, noch zu betrachten das Aufsteigen, Durchseihen u. dgl. der Flüssigkeiten durch poröse, feste Körper, wie Löschpapier, Zucker, Sand; das Walken der Tücher; die Methode den Meliszucker durch feuchten Thon zu reinigen; das Naßwerden eines ganzen Sandhaufens, der auf feuchtem Boden liegt, oder einer Mauer, die auf feuchtem Grunde steht; die Wirkung der Kerzen- und Lampendochte; der Nutzen des Papierleimens Das Wegnehmen eines Tropfens mittelst Löschpapier, das Abwischen des Schweißes mit einem Tuche geschieht durch Capillarität. In die Gefäße organischer Körper kann eine Flüssigkeit durch Capillarität aufgenommen, nicht aber darin in Circulation gesetzt werden. Wie groß die Kraft der Capillarität sey, ersieht man daraus, daß man mittelst derselben Mühlsteine lossprengen kann, daß sich Stricke, die durch bedeutende Gewichte gespannt sind, durch sie verkürzen, wenn sie naß werden ꝛc. Die Hauptquellen über die Theorie der Capillaritätsphänomene sind: *Laplace*, Théorie de l'action capillaire, Paris 1806. Auch als Supplement zur Mécanique céleste Tome 4. Im Auszuge in Gilb. Ann. Bd. 33. *Gauss*, Principia generalia theoriae figurae fluidorum in statu aequilibrii, Gottingae 1830. *Poisson*, Nouvelle Théorie de l'action capillaire. Paris 1831. Im Auszuge in Pogg. Ann. 25. 270. Link ebend. 29. 404.)

Sechstes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an ausdehnsamen Körpern (Aerostatik).

A. Ausdehnsamkeit der Gase.

220. Ausdehnsame Körper haben mit tropfbarflüssigen die absolut leichte Verschiebbarkeit ihrer Theile gemein, unterscheiden sich aber von denselben durch ihre Zusammendrückbarkeit und das damit in Verbindung stehende Streben nach Vergrößerung des Volums. Bei genannten Körpern hat nämlich die Abstoßung der Molekel über die Anziehung ein so entschiedenes Uebergewicht, daß diese gänzlich in den Hintergrund tritt; auch das Gewicht der Molekel wird von der zwischen ihnen herrschenden Repulsion vielfach übertroffen. Alle Gesetze

des Gleichgewichtes dieser Körper gehen aus dem Verhältnisse ihrer Ausdehnsamkeit zur Schwere und in gewissen besonderen Fällen auch zur Adhäsion hervor, daher wir vor allem die Ausdehnsamkeit als die charakteristische Eigenschaft der Gasform zu studiren haben.

221. Es liegt in der so eben ausgesprochenen Wesenheit eines Gases, daß es, durch das bloße Streben nach Ausdehnung, gegen jede dasselbe begrenzende oder in seinem Innern angenommene Fläche einen Druck äußert, der ungeändert fortbesteht, wenn man die übrige Masse des Gases durch feste Wände von dem jener Fläche anliegenden Theile abschließt, also von der Anwesenheit der übrigen Masse gar nicht abhängt, und lediglich darin seinen Grund hat, daß das Gas sich bereits in einem gewissen Zustande der Zusammendrückung befindet und darin erhalten wird. Dieser Druck kann dazu dienen, das, was man die Spannkraft oder Expansivkraft des Gases nennt, zu messen. Um hiebei keiner Zweideutigkeit Raum zu geben, denken wir uns jedes der unendlich kleinen Flächenstückchen, in welche wir eine Fläche = 1 getheilt annehmen, mit einer Kraft gedrückt, die jener gleich ist, die gegen ein gleiches unendlich kleines Flächenstückchen an derjenigen Stelle in einem Gase obwaltet, wo die Expansivkraft gemessen werden soll. Der Totaldruck, den die Flächeneinheit auf diese Weise erfährt, ist das Maß der Expansivkraft des Gases an der bezeichneten Stelle. Man kann daher auch sagen, die Expansivkraft eines Gases werde an jedem Orte durch den Quotienten gemessen, der aus der Division des auf ein unendlich kleines, daselbst verzeichnetes Flächenstückchen Statt findenden Druckes durch dieses Flächenstückchen hervorgeht. (Vergl. 190.)

222. Der für uns wichtigste ausdehnsame Körper ist die atmosphärische Luft, weßwegen die Betrachtung derselben hier vorangehen soll. Die Möglichkeit, eine mit Luft gefüllte Blase zusammenzudrücken und ihre schnelle Ausdehnung, wenn der Druck nachläßt, nebst dem Umstande, daß Luft in jeder auch noch so geringen Menge das ganze Gefäß einnimmt, in welches sie eingesperrt ist, setzen die Ausdehnsamkeit derselben hinreichend in das Licht. Da dieses zu allen Zeiten zutrifft, selbst mit Luft, die in verschlossenem Raume aufbewahrt wird, wie Roberval's und Muschenbroek's Versuche beweisen, wo eine Portion Luft mehrere Jahre hindurch eingesperrt erhalten ward, und man deßhalb gewiß seyn konnte, daß der Versuch genau mit derselben Luft gemacht wurde; so muß diese Ausdehnsamkeit wohl für beständig gelten. Weder Verdichtung, noch Kälte konnten bis jetzt der ausdehnsamen Form der atmosphärischen Luft etwas anhaben.

223. Die Größe der Expansivkraft der in ihrem natürlichen Zustande befindlichen atmosphärischen Luft läßt sich leicht durch einen directen Versuch ausmitteln. Wenn man nämlich eine etwa drei Fuß lange, einige Linien weite, an einem Ende verschlossene Glasröhre mit Quecksilber füllt, sie dann mit dem Finger verschließt, umwendet und mit dem zugehaltenen Ende vertical in ein Gefäß mit Quecksilber stellt,

so sinkt, nachdem man den Finger weggezogen hat, das in der Röhre befindliche Quecksilber (in Wien) ungefähr bis auf $28^1/_2$ W. Zoll herab und bleibt in dieser Höhe schweben. Daß dieses nicht von einer Adhäsion herrühre, läßt sich schon aus der erhabenen Oberfläche des Quecksilbers im Glase erkennen, ja sogar augenscheinlich dadurch zeigen, daß man die Röhre oben öffnet, denn da fällt das Quecksilber alsogleich in das Gefäß hinab. Neigt man die Röhre, so bleibt der verticale Abstand der Oberfläche des Quecksilbers in derselben von der Quecksilberfläche im Gefäße ungeändert, bis endlich bei sehr schiefer Lage der Röhre diese gänzlich mit Quecksilber gefüllt erscheint. Da hiebei das Quecksilber in der Röhre gegen jenes im untern Gefäße fortwährend denselben hydrostatischen Druck behauptet, so kann wohl die Ursache seines höheren Standes in der Röhre keine andere seyn, als das Stattfinden eines bestimmten äußeren Druckes, der jenem hydrostatischen Drucke gleich kommt, auf das Quecksilber im Gefäße. Da sich der Versuch auf ähnliche Weise auch mit Wasser machen läßt, mit dem einzigen Unterschiede, daß dabei die Wassersäule 32 Fuß hoch, mithin gerade in dem Verhältnisse größer erscheint, in welchem die Dichte des Wassers geringer ist, als jene des Quecksilbers, so steht der auf die Flüssigkeit im untern Gefäße ausgeübte Druck mit der materiellen Beschaffenheit derselben in keinem Zusammenhange, und kann nach allem hier Gesagten wohl nur der Luft zugeschrieben werden. In sofern die Höhe der Quecksilbersäule bei diesem Versuche $28^1/_2$ Zoll beträgt, drückt die Luft auf einen Quadratzoll wie eine Quecksilbersäule von $28^1/_2$ Kubikzoll Inhalt. Das Gewicht einer solchen Säule ergibt sich leicht aus dem specifischen Gewichte des Quecksilbers. Nehmen wir an, der genannte Quecksilberstand walte bei der Temperatur 0° C. ob, so findet man, da die Dichte des Quecksilbers in diesem Falle 13,598 und das Gewicht eines Kubikzolles Wasser 1,0439 W. Lothe, also das Gewicht eines Kubikzolles Quecksilber 14,1950 W. Lothe beträgt, den verlangten Druck und mit ihm die Expansivkraft der Luft = 12 W. Pfund 20 Loth 133,7 Gran. Die zu diesem, von Torricelli zuerst angestellten Versuche dienende Röhre heißt man die Torricellische Röhre, den über dem Quecksilber entstehenden leeren Raum Torricellische Leere.

Zu genanntem Versuche gab eine mißglückte Unternehmung der Brunnengräber Veranlassung, die das Wasser mittelst einer Pumpe über 32 Fuß heben wollten und es nicht vermochten. Dieses würde ihnen gar nicht aufgefallen seyn, wenn man nicht damals der Natur eine Scheu vor dem leeren Raume (horror vacui) zugeschrieben hätte, der doch bei ihrem Versuche zwischen dem Wasser und dem Kolben der Pumpe entstanden war. Sie wendeten sich an den berühmten Galiläi, um in ihrer physikalischen Verlegenheit Rath zu finden, erhielten ihn aber nicht. Erst dessen Schüler Torricelli war es vorbehalten, die wahre Ursache dieser Erscheinung (im Jahre 1643) aufzudecken.

224. Der Torricellische Versuch stellt die Expansivkraft der Luft auf eine sehr anschauliche Weise in der Höhe der Quecksilbersäule dar, welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält. Statt daher die Expan-

sivkraft der Luft in Gewichtseinheiten auszudrücken, mithin, wie vorhin gelehrt wurde, die entsprechende Quecksilberhöhe mit dem specifischen Gewichte des Quecksilbers für die herrschende Temperatur zu multipliciren, kann man mit größerer Bequemlichkeit unmittelbar die Höhe der durch die Luft getragenen Quecksilbersäule selbst als Maß der Expansivkraft der Luft gebrauchen, ein Verfahren, das auch auf Gase überhaupt sich ausdehnen läßt. Die Erfahrung lehrt, daß der Quecksilberstand in der Torricellischen Röhre nicht bloß an verschiedenen Orten verschieden ist, sondern an demselben Orte fortwährenden Aenderungen unterliegt, indem er ohne Unterlaß innerhalb gewisser Grenzen schwankt. (In Wien zwischen 27 und 29 Zoll; der mittlere Stand ist da 28 W. Zoll 4 Lin.) Da nun selbst dem oberflächlichen Blicke sich ein auffallender Zusammenhang zwischen diesen Aenderungen und dem Gange der Witterung darstellt, so hat die Torricellische Röhre, mit einer Scale zur Beobachtung des Quecksilberstandes versehen, unter dem Namen Barometer allgemeines Interesse gefunden. Der Physiker fordert von diesem Instrumente mehr als eine bloße Andeutung einer Statt gehabten Aenderung des Luftdruckes; es soll denselben genau zu messen gestatten. Zu diesem Zwecke muß die Röhre, wenigstens um das Ende der Quecksilbersäule herum, gleich weit, nicht enger als eine Linie seyn, eine gute in Zolle und Linien eingetheilte Scale, und wo möglich auch einen Nonius nebst einer Visirvorrichtung zur genauen Beziehung des Endes der Quecksilbersäule auf die Scale haben; das Quecksilber, welches in die Röhre eingefüllt wird, muß rein und gut ausgetrocknet seyn, und in der Röhre selbst so lange gekocht werden, bis sich selbst während des Kochens keine Luftblase mehr zeigt.

Nur dann ist der über dem Quecksilber befindliche Raum völlig luftleer, und das Barometer weiset den gehörigen Quecksilberstand. Bei dem Auskochen eines Barometers ist sorgfältig darauf zu achten, daß kein Quecksilberoxyd entstehe, welches mit dem metallischen Quecksilber eine Masse bildet, die sich an das Glas anhängt. Man hat vorgeschlagen, um dieß zu verhüten, in die mit Quecksilber gefüllte Röhre zu wiederholten Malen Wasserstoffgasblasen aufsteigen zu lassen und sie wieder durch Umkehren der Röhre zu entfernen, damit die rückständige Luft nur aus diesem Gase bestehe, das nicht bloß keine Oxydbildung gestattet, sondern für das etwa schon vorhandene beim Kochen als Reductionsmittel dient. (Zeitschrift 10. 234.) Das Quecksilber im Barometer nicht zu kochen, wie neuestens wieder empfohlen worden ist, um die Adhäsion desselben an das Glas zu vermeiden, ist nicht gut und ein Rückschritt in der Physik, indem man sich, um einem Fehler auszuweichen, einem größeren Preis gibt. Wenn man zu Barometerröhren sehr hartes Glas wählt, macht die Adhäsion wenig Unsicherheit.

225. Ohne die Künsteleien anzuführen, durch die man Barometer empfindlicher zu machen oder in zierliche Möbel umzustalten suchte, wie man dieses an Huyghen's und Hook's Doppelbarometer, an des letzteren Radbarometer, an Morland's Winkelbarometer, an Bernoulli's rechtwinkeligem Barometer rc. sehen kann, geben wir nur drei verschiedene Formen derselben an. Zum täglichen Gebrauche, wo nicht die größte Genauigkeit nothwendig ist, dient das Barometer

mit dem birnförmigen Gefäße A (Fig. 71), welches Gefäß im Verhältniß zur Röhre B weit genug ist, damit beim Steigen und Fallen des Quecksilbers in der Röhre die Veränderungen im Gefäße so klein als möglich ausfallen. Zu genaueren Beobachtungen bedient man sich des eigentlichen Gefäßbarometers, von der Form Fig. 72, wo B wieder die Barometerröhre, A aber ein weites, cylindrisches Gefäß vorstellt, dessen unterer Boden durch eine Schraube c gehoben oder gesenkt werden kann, um dadurch die Oberfläche des Quecksilbers immer in demselben Stande zu erhalten. Gut ist es, die Mündung des Barometerrohres zu verengen, und das Ende, woran sie sich befindet, aufwärts zu krümmen, um das Eintreten von Luft in die Röhre zu hindern. Bei täglichen Beobachtungen kann man von den Veränderungen des Quecksilbers im Gefäße A ganz absehen, wenn letzteres weit genug ist; will man aber genaue Resultate erhalten, so muß die Oberfläche des Quecksilbers daselbst bei jeder Beobachtung den Stand haben, welcher dem Nullpuncte der Scale entspricht. Dieses erhält man, wenn man mittelst der Schraube c das Quecksilber so weit hebt oder senkt, bis dessen Oberfläche an die Spitze eines feinen, eigens angebrachten Stiftes reicht, oder bis ein darauf schwimmendes, durch den Deckel der Quecksilberbüchse hervorragendes Stängelchen eine bestimmte Höhe erreicht hat. Fig. 73, a und b stellen diese zwei Einrichtungen der Quecksilberbüchse besonders vor, von welchen jedoch die erste den Vorzug verdient. Erhebt man mittelst der Schraube c den mit Leder gefütterten Boden des Quecksilbergefäßes, bis er an die Glasröhre angepreßt ist (in welcher man vorläufig das Quecksilber durch Neigen bis an die Wölbung steigen gemacht hat), oder wenigstens das Quecksilber in dem Gefäße so einengt, daß es sich nicht bewegen kann; so ist das Instrument gesperrt und zum Transport geeignet. Damit aber die durch Wärme bewirkte Ausdehnung des Quecksilbers im gesperrten Zustande die Röhre nicht sprenge und bei der Zusammenziehung desselben durch Kälte kein leerer Raum entstehe, muß der Boden des Quecksilbergefäßes elastisch seyn, damit er sich immer an das Quecksilber anschließe, wenn es sich zusammenzieht, und ihm auch nachgebe, wenn es sich ausdehnt. Das vollkommenste Barometer ist ohne Zweifel das Heberbarometer (Fig. 74). Es besteht aus einer heberförmig gebogenen Röhre, wovon der kürzere Schenkel denselben Durchmesser hat, wie der längere dort, wo die Quecksilbersäule spielt. Wenn ein solches Instrument gehörig von Luft gereinigt ist, so gibt a b, als der Höhenunterschied der Quecksilbersäule in den beiden Schenkeln, den Luftdruck an. Steigt das Quecksilber im längeren Arme, so fällt es im kürzeren und umgekehrt. Es ist zwar die Länge der Quecksilbersäule in d c eben so veränderlich, wie in a b, aber die Größen dieser Veränderungen werden nur dann einander vollkommen gleich seyn, wenn die beiden Schenkel vollkommen gleiche Durchmesser haben, eine Eigenschaft, die man gar selten findet. Wäre diese Eigenschaft leichter zu erhalten, so dürfte man nur die Höhe a b ein- für allemal von a bis b messen, ihr Maß in b verzeichnen und die Veränderungen in b doppelt neh-

men, ohne die in c zu berücksichtigen. Um sich aber auf eine so schwer zu erhaltende Sache nicht verlassen zu dürfen, macht man die Röhre beweglich, indem man sie in d an eine Schraubenmutter befestiget, welche durch die am Brete A B C D angebrachte Schraube e gehoben oder gesenkt werden kann. Bevor man die Barometerhöhe beobachtet, schraubt man die Röhre so, daß die Oberfläche des Quecksilbers einem fixen Puncte c entspricht.

Eine sehr einfache, von Gay Lussac angegebene Form des Heberbarometers zeigt Fig. 75. Hiebei ist die Position des Rohres gegen die Scale nicht veränderlich, sondern man beobachtet an einer fixen, entweder auf dem Rohre selbst oder auf der metallenen Hülse, in der das Rohr eingeschlossen ist, verzeichneten Scale den Quecksilberstand in beiden Schenkeln, und addirt oder subtrahirt die correspondirenden Zahlen, je nachdem der Nullpunct der Scale zwischen den beiden Quecksilberflächen liegt, oder das Gegentheil Statt findet. Mehr über diesen Gegenstand in: Luz vollständige und auf Erfahrung gegründete Beschreibung von Barometern. Nürnberg und Leipzig, 1784; Gehler's phys. Wörterbuch, neu bearbeitet. Art. Barometer. Kupffer in Pogg. Ann. 26. 446. Buff ebend. 31. 266.

226. Um Barometerbeobachtungen, welche an verschiedenen Instrumenten und unter verschiedenen Umständen angestellt worden sind, mit einander vergleichbar zu machen, muß man auf die Verminderung des Barometerstandes wegen der Enge des Rohres (Capillardepression) und auf die Veränderung des specifischen Gewichtes des Quecksilbers und der Länge der Scale bei wechselnder Temperatur Rücksicht nehmen. Der erste Umstand erzeugt eine constante, der zweite eine veränderliche Differenz der Barometerstände. Die Capillardepression übt bei einem Heberbarometer, dessen beide Schenkel an den Stellen, wo die Quecksilberflächen sich auf und ab bewegen, über $2^1/_2$ W. Lin. weit sind und möglichst gleiche Durchmesser haben, da sie hiebei schon an sich betrachtet geringfügig ist, und in dem einen Schenkel nahe so viel beträgt, als in dem andern, auf die Angabe des Barometerstandes keinen merklichen Einfluß aus, und nur bei engeren Röhren äußert sich der Umstand, daß die Quecksilberfläche auf der einen Seite an einen luftleeren Raum grenzt, während sie auf der andern mit feuchter Luft in Berührung steht, in wahrnehmbarem Grade, und nöthiget zu einer Correction, die man nach dem Durchmesser der Röhre und der Höhe der Wölbung, mit der das Quecksilber sich endiget, mittelst Rechnung oder mit Hülfe einer Tabelle verrichtet. Eben so ist die Capillarwirkung bei einem Gefäßbarometer mit sehr weitem Rohre unmerklich. Man nennt solche Barometer, bei denen die Capillardepression wegfällt, Normalbarometer. Bei Gefäßbarometern mit engeren Röhren kann man den durch Rechnung oder durch Vergleichung mit einem Normalbarometer ausgemittelten Höhenunterschied der Quecksilbersäule wegen der Capillarität schon bei der Anordnung der Scale ein für alle Mal corrigiren, indem man den Nullpunct der Scale um das Erforderliche tiefer setzt. Von größerem Belange bei Barometerbeobachtungen aber ist die Rücksicht auf die Temperatur des

Quecksilbers. Man berechnet alle Beobachtungen, um in selbe Harmonie zu bringen, so, als ob sie bei einer und derselben Temperatur, welche man die Normaltemperatur nennt, und wofür man allgemein 0° C. anzunehmen pflegt, angestellt worden wären. Die an den Beobachtungen dieserwegen zu machende Correction beruht auf der Thatsache, daß sich die Länge einer Quecksilbersäule, die bei 0° C. als Einheit angenommen wird, für jeden Wärmegrad um $^1/_{5550}$ ändert. Heißt daher b die bei t° C. beobachtete und b′ die auf 0° reducirte Barometerhöhe, so ist wegen

$$b' + \frac{b' t}{5550} = b, \; b' = b : \left(1 + \frac{t}{5550}\right)$$

oder b′ nahe gleich $b - \frac{b t}{5550}$, wo t positiv oder negativ zu nehmen ist, je nachdem das Thermometer über oder unter dem Eispuncte steht. Eben so wird die Correction wegen der Temperatur der Scale vollzogen; sie ist stets viel geringer als die erstere, hat das entgegengesetzte Zeichen, und kann in der Regel auf nicht mehr als den zehnten Theil derselben angeschlagen werden.

227. Man ersieht hieraus die wechselseitige Abhängigkeit zwischen Barometer und Thermometer. Die Bestimmung des Siedpunctes des Thermometers und folglich die Gradlänge desselben hängt vom Barometerstande ab, der seinerseits wieder nach dem Thermometerstande zu corrigiren ist. Durch successive Correctionen bringt man es leicht dahin, beide Instrumente von jedem merklichen Fehler zu befreien. Der Luftdruck, auf welchen man die Festsetzung des Siedpunctes, wie auch andere in der Folge vorkommende Reductionen bezieht, wird durch den sogenannten Normalbarometerstand angegeben. Meistens wählt man dazu jenen, dem die bei 0° C. Statt findende Quecksilberhöhe von 28 Pariser Zoll = 28,774 W. Zoll = 28 W. Z. 9,29 Lin. = 757,96 Millimeter entspricht. Doch ziehen andere den, von den neueren französischen Physikern hiezu adoptirten Stand von 760 Millimetern = 28,851 W. Zoll = 28 W. Z. 10,22 Lin. = 28 Par. Z. 0,905 Lin. vor. In diesem Werke wird jedesmal ausdrücklich gesagt, auf welche dieser Annahmen eine Angabe sich bezieht. Der Luftdruck bei dem Normalbarometerstande 28 P. Z. (nahe $12^3/_4$ W. Pfund), ist die Kraft, welche man unter der Benennung eine Atmosphäre zu verstehen und der Messung stärkerer Kraftäußerungen als Einheit unterzulegen pflegt.

228. Ueber die Abhängigkeit der Expansivkraft eines Gases nach dem oben (221) aufgestellten Begriffe von der zwischen seinen kleinsten Theilchen obwaltenden Abstoßung läßt sich im Allgemeinen wenig sagen. Bleibt die Dichte des Gases, mithin die relative Stellung der Theilchen ungeändert, so ist offenbar seine Expansivkraft dieser Abstoßung proportionirt. Allein wenn sich die Dichte des Gases ändert, kann man dieß nicht mehr gelten lassen. Eben so wenig kann man von dem Verhältnisse der Expansivkräfte zweier Gase auf das Verhältniß der Energie der Abstoßung ihrer Molekel einen sichern Schluß machen, und

nur dann, wenn es gewiß wäre, daß beide Gase in einerlei Raum gleich viel Molekel enthalten, könnte man letztere Kräfte den ersteren proportional setzen. Sollte uns ja das bis jetzt unbekannte Gesetz, nach welchem sich die abstoßende Kraft der Molekel richtet, einst bekannt werden, so kann es nur mittelbar durch gehörige Beachtung der Erfahrungsdaten geschehen; daher ist es jedenfalls nöthig, die Umstände, nach denen sich die Druckkraft eines Gases richtet, aufzusuchen und deren Einfluß zu erforschen. Die Umstände, welche die Expansivkraft eines Gases bestimmen, sind der Erfahrung zu Folge die Dichte, die Temperatur und die materielle Beschaffenheit des Gases. In der That zeigen schon die oberflächlichsten Beobachtungen, durch welche man die Eigenschaft der Ausdehnsamkeit der Gase kennen lernt, daß die Expansivkraft eines Gases zunimmt, wenn man dasselbe verdichtet, denn es ist ja hiezu stets eine Steigerung des äußeren Druckes nothwendig. Durch Erwärmung wächst die Expansivkraft der Luft oder eines andern Gases gleichfalls, wie das Anschwellen einer damit gefüllten Blase über einem Kohlenfeuer beweiset. Wie sehr endlich die Expansivkraft von der speciellen Natur eines Gases abhängt, zeigt die Erfahrung, daß Wasserstoffgas bei viel geringerer Dichte als atmosphärische Luft dem Drucke dieser das Gleichgewicht hält, mithin das Gas eine weit größere Energie der seinen Theilchen inwohnenden Abstoßung zeigt, als die atmosphärische Luft. Wir wollen nun die Beziehung der Expansivkraft zu den genannten Umständen näher ins Auge fassen.

229. Wenn man in eine gebogene Röhre ABC (Fig. 76) mit verticalen Schenkeln, wovon der kürzere verschlossen ist, Quecksilber gießt, so daß es im längeren bis D, im kürzeren bis E reicht; so erleidet die in EC eingeschlossene Luft einen Druck von der äußeren Luft und von der Quecksilbersäule DF, dem der von ihrer Ausdehnsamkeit und von ihrem Gewichte herrührende Gegendruck das Gleichgewicht hält. Man kann hiebei das Gewicht der Luftmasse EC als unmerklich außer Acht lassen. Bezeichnet man also die bei dem Versuche Statt findende Barometerhöhe durch b, und die Höhe der Quecksilbersäule DF durch a, so kann der Druck einer Quecksilbersäule von der Höhe $b + a$ als das Maß der Ausdehnsamkeit der Luft in EC angesehen werden. Vermehrt man die Quecksilbersäule a langsam und mißt dabei immer den Raum, welchen die Luft EC einnimmt; so lehrt die Erfahrung, daß letzterer mit der Summe $b + a$ fortwährend genau in verkehrtem Verhältnisse steht, die Luft mag übrigens atmosphärische oder eine andere, oder gar ein Gemisch von mehreren seyn, wenn sie nur vor dem Versuche gut ausgetrocknet wird, und während des Versuches keine Aenderung ihrer Temperatur vorgeht. Ein gleiches Resultat findet man, wenn man die Luft, statt sie zu verdichten, durch Verminderung der drückenden Kraft verdünnt. Man braucht dazu eine etwa 30 Zoll lange Barometerröhre (Fig. 77), die auf einer Seite offen, auf der andern mit einem Hahne B verschlossen ist, und eine eben so lange zweite, aber viel weitere und unten geschlossene

Röhre C. Diese wird zum Theile mit Quecksilber angefüllt und erstere Röhre darein getaucht, nachdem zuvor ihr Hahn geöffnet worden ist. Sobald die Einsenkung auf eine beliebige Tiefe geschehen ist, schließt man den Hahn, und bemerkt das Volum der in der Röhre enthaltenen Luft, die offenbar einen Druck erleidet, dem der jedesmalige Barometerstand b entspricht, hebt sie dann um ein beliebiges Stück aus dem Quecksilber heraus, ohne jedoch ihr Ende über dasselbe hervortreten zu lassen, und mißt den von der Luft eingenommenen Raum wieder. Hat die Quecksilbersäule in der engen Röhre eine Höhe a, so erleidet die Luft darin einen Druck b — a, und dieser Druck wird stets dem Luftvolum verkehrt proportionirt gefunden. Da die Dichte eines Körpers mit dem Volum, das er einnimt, in verkehrtem Verhältnisse steht, so läßt sich dieses Gesetz, welches Boyle und Mariotte fast zu gleicher Zeit kennen lehrten, und das nach Letzterem, der es in seinem ganzen Umfange entwickelte, das Mariotte'sche genannt wird, so ausdrücken: Die Ausdehnsamkeit der Luft ist ihrer Dichte proportionirt. Es hat sich bei der atmosphärischen Luft, selbst noch bei einer 27fachen Verdichtung und einer 112fachen Verdünnung, vollkommen bewährt. (Zeitschr. 8. 114.)

Nach Oersted (Schweigg. J. 45. 352) gilt es nicht bloß für atm. Luft, sondern auch für viele andere Gasarten bis zu einer 66maligen Verdichtung; aber nach Despretz's noch einer weiteren Bestätigung erheischenden Versuchen (Schweigg. J. 51. 108) soll Wasserstoffgas schon bei einer 15maligen, Cyan- und Ammoniakgas, so wie das schwefeligsaure und schwefelwasserstoffsaure Gas bei einer zweifachen Verdichtung von diesem Gesetze abweichen. Wiewohl aber die Grenzen, innerhalb welchen dieses Gesetz für Gase gilt, noch nicht festgesetzt sind, so liegt doch das Daseyn solcher Grenzen in der Natur der Gase. Es ist nämlich sehr wahrscheinlich, daß alle ausdehnsame Körper nur einen gewissen Druck ertragen, ohne tropfbar zu werden. Ueberschreitet man diesen Druck, so kommen sich die Theile des Gases näher, als es mit dem Bestehen seiner Ausdehnsamkeit verträglich ist, es muß ein Theil desselben tropfbar werden, und das Mariotte'sche Gesetz hört auf zu dem vorliegenden Falle zu passen, weil die Verringerung des Volums keine weitere Verdichtung des Gases, sondern lediglich die Formänderung eines Theiles desselben herbeiführt. Dieses hat Oersted erfahren, als er atmosphärische Luft und schwefeligsaures Gas mit einander in Betreff ihres Verhaltens gegen drückende Kräfte verglich. Beide befolgten nur bis zu einer $2\frac{1}{4}$maligen Verdichtung einerlei Gang; weiter hinaus wuchs bei demselben Drucke die Dichte des schwefeligsauren Gases schneller als die der atm. Luft; bei einer 3.27maligen Verdichtung war schon die tropfbare Flüssigkeit bemerklich, welche das letztere Gas geliefert hatte. Zur Anstellung solcher Versuche eignet sich vorzüglich der oben (182) beschriebene Compressionsapparat, in den man Röhren einsetzt, welche die zu vergleichenden Gase enthalten, und durch Quecksilber gesperrt sind. Eben so kann das Mariotte'sche Gesetz bei der Verdünnung eines Gases nur so lange Anwendung finden, bis die Ausdehnsamkeit desselben mit der Schwere ins Gleichgewicht getreten ist, indem von diesem Puncte an bei einer ferneren Verminderung der drückenden Kraft keine weitere Ausdehnung des Gases erfolgt.

230. Mit Hülfe des Mariotte'schen Gesetzes läßt sich das Volum V eines bei einem gewissen Drucke B mit Flüssigkeit abgesperr-

ten Gases auf jenes reduciren, welches es unter übrigens gleichen Umständen bei einem andern Drucke b einnehmen würde. Der Druck, von dem hier die Rede ist, wird nicht allein durch die Barometerhöhe, sondern auch durch den Stand der Sperrflüssigkeit in und außer dem Recipienten bestimmt. Nennt man das zu suchende Volum v, so ist

$$v : V = B : b, \text{ mithin } v = \frac{VB}{b}.$$

Eben so kann man, wenn zwei Luftmassen bei einerlei Expansivkraft E verschiedene Volumen V, V' einnehmen, das Verhältniß ihrer Expansivkräfte finden, wenn sie unter gleichen Umständen dasselbe Volum, z. B. v, einzunehmen genöthiget werden. Nennt man nämlich die Expansivkräfte der Gase in dem letzteren Falle e, e', so hat man einerseits $e : E = V : v$ und andererseits $e' : E = V' : v$, mithin $e : e' = V : V'$, d. h. das zu suchende Verhältniß der Expansivkräfte ist jenem der gegebenen Luftvolume gleich.

231. Versuche über die Zunahme der Expansivkraft der Luft bei Erhöhung der Temperatur wurden von Lambert, Dalton, Gay-Lussac, von Dulong und Petit, von Davy und neuerlich von Rudberg mit besonderer Genauigkeit angestellt. Gay-Lussac bediente sich dazu einer wohl ausgetrockneten Thermometerröhre, die dem Raume nach in gleiche Theile getheilt und mit einer Kugel versehen war, deren Kubikinhalt zu jenem der Röhre in einem hinlänglich großen und bekannten Verhältnisse stand. Diese wurde mit der zu prüfenden, gut ausgetrockneten Luft zum Theile angefüllt, durch eine kleine, bewegliche Quecksilbersäule (Index) geschlossen, horizontal in ein Wasser- oder Quecksilberbad gelegt, dem man verschiedene Wärmegrade mittheilen konnte, die Größe des Volums der Luft bei jedem Grade gemessen, und zugleich der jedesmalige Barometerstand angemerkt. Die in der Kugel und Röhre eingeschlossene Luft treibt hier, wenn ihre Temperatur steigt, wegen der dadurch herbeigeführten Vergrößerung ihrer Expansivkraft, den Index gegen das offene Ende der Röhre; in dem Maße aber, als diese Luft ein größeres Volum erhält, nimmt ihre Expansivkraft ab, und sobald diese wieder jener der äußeren Luft gleich geworden ist, bleibt der Index stehen. Bei eintretender Temperaturverminderung erfolgt das Umgekehrte. Hier kann man sogleich die in 230 erhaltenen Resultate in Anwendung bringen. Erstens lassen sich die bei verschiedenen Barometerständen gemessenen Luftvolume so darstellen, als ob sämmtliche Beobachtungen bei einerlei Luftdruck gemacht worden wären. Zweitens geben die bei verschiedenen Temperaturen beobachteten Luftvolume nach dieser Reduction das Verhältniß der Expansivkräfte an, welche die eingeschlossene Luft geäußert haben würde, wenn ihr keine Volumsänderung gestattet, also ihre Dichte stets gleich erhalten worden wäre, so daß bei Gay-Lussac's Versuchen sich der Einfluß der Temperatur auf die Expansivkraft der Luft durch Betrachtung des Standes des Index, nach genommener Rücksicht auf den äußeren Druck unmittelbar vor Augen stellte. Dieser Gelehrte bewies auf solchem Wege, 1) daß sowohl atmosphärische

Luft, wie auch jedes andere Gas oder Gasgemenge unter constantem Drucke, bei dem Uebergange von einer Temperatur zu einer andern, vorausgesetzt, daß dieselben über dem Condensationspuncte jedes Gases liegen, eine dem ursprünglichen Volum proportionirte Volumsänderung erleiden, und 2) daß diese Volumsänderung bei einerlei Größe des anfänglichen Volums und einerlei Temperaturen für alle Gase gleich groß ist. Ueberdieß fand Gay-Lussac, daß, wenn die Temperaturen mittelst des Quecksilberthermometers bestimmt werden, wenigstens für Temperaturen, welche nicht über den Siedpunct hinausgehen, die Aenderung des bei 0° C. Statt findenden Volums eines trockenen Gases mit der Temperatur in geradem Verhältnisse steht. — Gay-Lussac gab, seinen Beobachtungen zu Folge, die Ausdehnung trockener Luft unter constantem Drucke bei einer Temperaturänderung von 0° bis 100° C., in Theilen des Volums bei 0° C., gleich $0{,}375 = {}^3/_8$ an, wornach die Volumsänderung der Luft für jeden einzelnen Grad der hunderttheiligen Thermometerscale 0,00375 oder nahe $^1/_{267}$ des Volums bei 0° C. betragen würde. Dieses Resultat hatte schon vor langer Zeit Lambert erhalten, und die späteren Beobachtungen von Dulong und Petit, wie auch von Davy bestätigten dasselbe. Allein die zahlreichen, mit einander sehr gut übereinstimmenden, und wegen der Genauigkeit des Verfahrens ein besonderes Zutrauen verdienenden Versuche Rudberg's geben ein etwas verschiedenes Resultat. Rudberg hat bei seinen Versuchen zwei verschiedene, dem Verfahren Gay-Lussac's gewissermaßen entgegengesetzte Wege eingeschlagen. Er hat sowohl die Volumsverminderung der von der Siedhitze des Wassers bis zum Schmelzpuncte des Eises abgekühlten Luft beobachtet (Pogg. Ann. 41. 271), als auch die Vergrößerung der Expansivkraft gemessen, welche einer trockenen Luftmasse unter demselben Volum durch Erwärmung von 0° bis zur Siedhitze des Wassers zu Theil wird (Pogg. Ann. 44. 119). Er fand so, daß die Ausdehnung trockener atmosphärischer Luft von 0° bis 100° C. nur 0,364 bis 0,365 ihres Volums bei 0° C. ausmacht, wornach die Volumsänderung derselben für einen Centesimalgrad zwischen 0,00364 und 0,00365 fällt, mithin nahe gleich $^1/_{274}$ gesetzt werden kann. Bezeichnen wir letztere Zahl, welche man den Ausdehnungscoefficienten der Gase nennt, durch α, ferner zwei verschiedene Temperaturen einer Luftmasse nach der Centesimalscale eines Quecksilberthermometers durch T, T'; die Expansivkräfte, welche derselben dabei unter einer gewissen constanten Dichte zukommen, durch E, E'; das Volum, welches diese Luft bei irgend einem Drucke und der Temperatur 0° C. annehmen würde, durch v, und die Volume derselben bei diesem Drucke und bei den oben genannten Temperaturen durch V, V', so ist, in sofern T, T' nicht über 100° C. fallen, nach dem Obigen

$$V = v + \alpha v T = v\,(1 + \alpha T) \text{ und eben so}$$

$V' = v\,(1 + \alpha T')$; ferner hat man $E : E' = V : V'$, daher ist $E : E' = 1 + \alpha T : 1 + \alpha T'$. Hat aber die hier betrachtete Luftmasse, während ihr die Temperaturen T, T' zukommen, verschiedene

Dichten D, D', und bezeichnen wir die dabei Statt findenden Expansivkräfte wieder durch E, E', so ergibt sich mit Zuhülfenahme des Mariotte'schen Gesetzes die Proportion

$$E : E' = D (1 + \alpha T) : D (1 + \alpha T').$$

Rudberg's erstes Verfahren zur Bestimmung des Werthes von α besteht in Folgendem: Eine Glaskugel, etwa 120 bis 150 Gramme Quecksilber fassend und in eine Thermometerröhre auslaufend, welche durch Chlorcalcium wohl getrocknete Luft enthielt, wurde bei bekanntem Barometerstande der Siedhitze des Wassers ausgesetzt, dann die Spitze der Röhre zugeschmolzen und die Kugel gewogen. Hierauf wurde die Röhre in Quecksilber getaucht, durch Abbrechen der Spitze unter Quecksilber geöffnet, die Kugel mittelst schmelzenden Schnees auf 0° erkaltet, die Spitze der Röhre mit Klebwachs unter Quecksilber geschlossen, sogleich der Barometerstand notirt, dann die Höhe, zu welcher das Quecksilber über das die Röhre umgebende Niveau durch den äußern Luftdruck in die Kugel getrieben war, genau gemessen, und die Kugel sammt dem darin befindlichen Quecksilber, nach Absonderung des Wachses, gewogen. Endlich wurde die Kugel sammt Röhre mit Quecksilber gefüllt, durch Auskochen desselben von aller Luft befreit, und während die (zu diesem Behufe vorher umgebogene) Spitze der Röhre in Quecksilber tauchte, auf 0° C. gebracht, so daß das ganze Gefäß mit Quecksilber von der Temperatur 0° C. gefüllt war, hierauf dieses wieder der Siedhitze des Wassers ausgesetzt, der Barometerstand beobachtet, und sowohl das während der Erhitzung der Kugel ausgeflossene Quecksilber, wie auch das in der Kugel zurückgebliebene gewogen. Die Temperatur des siedenden Wassers wurde nicht mittelst eines Thermometers gemessen, sondern (nach oben (37) bereits erwähnten und später genauer zu erörternden Gründen) aus dem Barometerstande abgeleitet. Es handelt sich hier, zur Ausmittelung der in der Frage stehenden Ausdehnung der Luft, bloß um die Vergleichung des anfänglichen Volums der heißen Luft mit dem nachherigen der abgekühlten, nachdem beide auf einerlei Druck reducirt worden, was mittelst der beobachteten Barometerstände und der Höhe der in das Gefäß eingetretenen Quecksilbersäule, die von dem gleichzeitigen Barometerstande abzuziehen ist, leicht geschehen kann. Durch das Verhältniß des Gewichtes des Quecksilbers, welches aus der bei 0° C gefüllten Kugel und Röhre während der Erhitzung abfloß, zu dem Totalgewichte des Quecksilbers, wird das Verhältniß des Ueberschusses der Ausdehnung des Quecksilbers über jene des Glases zu dem vergrößerten Volum der gesammten Quecksilbermasse, mithin, da die Dilatation des Quecksilbers aus Dulong's und Petit's Versuchen auf das Genaueste bekannt ist, die Dilatation des Glases gegeben. Hierdurch und durch das Verhältniß des Volums der Kugel und Röhre bei 0° C. zu jenem Volum, das die Luft nach der Abkühlung einnahm, welches Verhältniß jenem des Totalgewichtes des Quecksilbers zu dem Unterschiede zwischen diesem und dem Gewichte des in die Kugel während der Abkühlung eingetretenen gleich kommt, hat man alle Daten zur Lösung des Problems.

Das zweite Verfahren gründet sich auf den Gebrauch des Apparates, Fig. 78. A ist ein Quecksilberbehälter, jenem eines Gefäßbarometers ähnlich, dessen Volum mittelst der Schraube B, welche den mit Leder gefütterten Boden des Gefäßes hebt und senkt, verengert und erweitert werden kann. In den Deckel des Gefäßes ist sowohl das oben offene Glasrohr CD, als auch das Rohr E, welches nach oben durch das engere Rohr FG mit dem cylindrischen Gefäß H in Verbin-

dung steht, eingekittet. In letzterem befindet sich wohl ausgetrocknete Luft, die, wenn der Behälter A und das Rohr CD bis x mit Quecksilber gefüllt ist, und das Gefäß H auf 0° C. erkältet wird, bis a reicht, während E Quecksilber enthält. Erhitzt man die Luft in H mittelst siedenden Wassers, wodurch ihre Expansivkraft wächst, und das Quecksilber in FG herab und in CD hinauf gedrückt wird, so kann man mit Hülfe der Schraube B die Luft auf das frühere Volum zurückdrängen, wobei, wenn das Quecksilber in FG wieder bis a gestellt worden ist, es in CD bis y gestiegen seyn wird. Der Höhenunterschied des Quecksilbers in den Röhren CD und FG wird an einer hiezu angebrachten Scale gemessen. Die Capillardepression des Quecksilbers in FG muß vor der Zusammenstellung des Apparates bestimmt worden seyn. Heißt dieselbe c, ferner der Höhenunterschied des Quecksilberstandes in CD und EF, während H die Temperatur des schmelzenden Schnees hatte, b, und während H den Dämpfen siedenden Wassers ausgesetzt war, h', sind endlich b, b' die gleichzeitigen Barometerstände, so ist das Verhältniß der Expansivkräfte der Luft in beiden Fällen $= b + h - c : b' + h' - c$. Heißt δ die Volumsdilatation des Glases für einen Centesimalgrad, und ist τ die Temperatur der Dämpfe des siedenden Wassers, so ist dasselbe Verhältniß auch

$$= 1 + \delta\tau : 1 + \alpha\tau,$$

woraus $1 + \alpha\tau = \frac{b' + h' - c}{b + h - c}(1 + \delta\tau)$ folgt, mithin α gefunden werden kann.

232. Der Umstand, daß sich alle Gasarten bei derselben Wärmezunahme um gleiche Theile ihres Volums ausdehnen, zeigt, daß ihre Ausdehnsamkeit reine Wirkung der Wärme sey. Ein Thermometer, dessen Substanz ein Gas ist, wird diesem gemäß einen der Wärme ganz entsprechenden Gang haben müssen. Ein solches Thermometer, welches Luftthermometer heißt, erhält man, wenn man die in einem Gefäße von der Form eines Quecksilberthermometers befindliche Luft sorgfältig trocknet, und dann in die Röhre eine kurze Quecksilbersäule bringt, durch welche eine die Kugel und einen Theil der Röhre ausfüllende Luftmasse von der äußeren Atmosphäre abgesperrt wird, übrigens aber die Röhre offen läßt. Die Quecksilbersäule gibt den Index ab. Um den Einfluß der Schwere derselben auf die Anzeigen des Instrumentes zu beseitigen, muß die Röhre stets eine horizontale Lage haben. Die Aenderungen der Länge der Quecksilbersäule durch die Wärme kann man als unmerklich betrachten. Da das Volum der abgesperrten Luft nicht bloß von der Temperatur derselben, sondern auch von dem äußeren Luftdrucke abhängt, so muß die Röhre mit einer Volumscale versehen, und bei jeder Beobachtung der Barometerstand mit demjenigen verglichen werden, auf den sich die Bestimmung des Eis- und Siedpunctes bezieht. Die Herstellung der Volumscale wird sehr erleichtert, wenn die Röhre wohl calibrirt ist. Soll das Instrument zur Angabe sehr verschiedener Temperaturen dienen, so muß auch auf die Dilatation des Glases gesehen werden. Man kann den Eispunct mit 0 bezeichnen, und zwischen ihm und dem Siedpuncte 100 Grade zählen, oder besser die Scale so einrichten, daß die den einzelnen Temperaturgraden beigesetzten Zahlen sich verhalten wie die Expansivkräfte,

welche der Luft unter constanter Dichte bei diesen Temperaturen zukommen, zu welchem Ende man entweder den Eispunct mit 1000 zu bezeichnen und bis zu dem Siedpuncte 364 Grade zu zählen hat, so daß dem letzteren die Zahl 1364 entspricht, oder auch den Eispunct mit 274 und den Siedpunct mit 374 notiren mag, wobei der Fundamentalabstand 100 Grade enthält. Im letzteren Falle beruht die Umwandlung der Angaben dieses Thermometers in jene der gewöhnlichen Centesimalscale, und umgekehrt, auf der bloßen Subtraction und Addition der Zahl 274; im ersteren hingegen hat man, wenn L eine Temperaturangabe nach dem Luftthermometer und C die gleichbedeutende nach der gewöhnlichen hunderttheiligen Scale ist,

$$L = 1000 + 3{,}64\ C \text{ und } C = \frac{L - 1000}{3{,}64}.$$

Der Einfluß des atmosphärischen Druckes auf das Luftthermometer läßt sich beseitigen, wenn man die in dem Quecksilbergefäße eines Barometers enthaltene Luft von der äußeren, nachdem man sie wohl getrocknet hat, durch Zuschmelzen des Gefäßes absperrt. Bei dem Gebrauche des Instrumentes, dessen Scale man auf die so eben erklärte Weise einrichtet, hat man jedoch darauf zu sehen, daß die Röhre eine verticale Lage habe, auch darf hier die Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme nicht unbeachtet bleiben; endlich können die Aenderungen des Volums der abgesperrten Luft bei verschiedenem Stande des Quecksilbers in der Röhre nur in so ferne außer Acht gelassen werden, als der Durchmesser der Quecksilberfläche im Gefäße jenen der Röhre viele Male übertrifft. Daß Rudberg's in 231 beschriebener Apparat auch als Luftthermometer verwendet werden kann, fällt in die Augen.

233. Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, daß ein Luftthermometer als Regulator für jedes andere Thermometer anzusehen sey. Das Quecksilberthermometer stimmt mit diesem innerhalb des Fundamentalabstandes völlig überein, aber außerhalb dieses eilt das Quecksilberthermometer dem wahren Gange der Wärme voraus. Bei den Temperaturen, bei welchen das Quecksilberthermometer — 36°, 200°, 300° C. angibt, zeigt ein Luftthermometer nur — 35°,96, 198°,81, 294°,73 (Berzelius Jahresbericht 19. Jahrg. S. 44.)

234. Das vorhin beschriebene, offene Luftthermometer kann zugleich zur Angabe der Dichte der Luft, mithin als Manometer gebraucht werden. Es hat nämlich die darin eingeschlossene atmosphärische Luft einerlei Expansivkraft mit der äußern; haben nun beide einerlei Temperatur, so haben sie auch einerlei Dichte. Versieht man daher dieses Instrument mit einer Scale, der das Volum der Luft bei 0° C. und 0,76 Met. Luftdruck als Einheit zum Grunde liegt; so gibt jedesmal der Bruch, welcher 1 zum Zähler und das Volum der Luft, wie es das Instrument angibt, zum Nenner hat, die gesuchte Dichte der Luft an, in sofern man die Dichte derselben bei 0° C. und 0,76 Met. Druck als Einheit betrachtet. Man kann zur Ersparung jeder Rechnung gleich die einzelnen Grade der Scale statt mit der Volumzahl v, mit der Zahl $\frac{1}{v}$ bezeichnen, und dann die Dichte unmittelbar ablesen.

235. Kleine Aenderungen der Expansivkraft der Luft zeigt Wollaston's Differenzialbarometer an. Dieses ist in Fig. 79 abgebildet, und besteht aus einem Kästchen A, das durch eine Scheidewand in zwei Fächer getheilt wird, deren eines offen ist, und daher mit der äußeren Luft communicirt, das andere aber durch einen Deckel luftdicht geschlossen ist und nur eine offene Seitenröhre hat. In dieses Kästchen ist eine zweischenkelige Glasröhre B so eingekittet, daß ein Schenkel mit dem offenen, der andere mit dem geschlossenen Fache in Verbindung steht. Beide Schenkel enthalten eine 2—3 Zoll lange Wassersäule und über derselben eine Oehlsäule, die beiderseits bis ins Gefäß reicht, und den Boden desselben noch 1/2 Z. hoch deckt. Ist die Wassersäule in beiden Schenkeln und folglich auch das Niveau des Oehles in beiden Abtheilungen des Gefäßes gleich hoch, so ist das Instrument adjustirt. Beim Gebrauche wird die Röhre der geschlossenen Abtheilung mit dem Raume in Verbindung gebracht, wo die Aenderung der Expansivkraft vor sich gehen soll, und die Bewegung der Wassersäule beobachtet. Dort, wo die Expansivkraft kleiner wird, steigt die Wassersäule, und es verkürzet sich die Oehlsäule; die Differenz zwischen dem Drucke einer Wasser- und Oehlsäule, deren jede den verticalen Abstand der Trennungsflächen dieser Flüssigkeiten in beiden Schenkeln zur Höhe hat, entspricht dieser Abnahme, in soferne man nämlich die Aenderung des Niveaus des Oehles in beiden Abtheilungen des Gefäßes, wegen der Größe seines Durchmessers im Vergleiche mit der Weite der Röhre als unmerklich betrachten darf. Nähme man statt Oehl und Wasser zwei andere Flüssigkeiten, deren Dichten einander noch näher ständen, so würde das Instrument noch empfindlicher. (Zeitschr. 6. 264.)

236. Da der Erfahrung zufolge Gase von verschiedener materiellen Beschaffenheit bei einerlei Temperatur und unter einerlei äußerem Drucke, d. h. bei einerlei Expansivkraft, verschiedene Dichten haben, so kommen denselben, wenn sie mit Beibehaltung der gemeinschaftlichen Temperatur auf einerlei Dichte gebracht werden, verschiedene Expansivkräfte zu, und zwar zeigt ein Gas eine um so größere Expansivkraft, je geringer seine Dichte in Vergleichung mit der eines andern bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke erscheint. Man schreibt daher jedem Gase eine besondere specifische Expansivkraft zu, und setzt dieselbe der Expansivkraft proportional, welche das Gas bei einer festgesetzten Temperatur und Dichte besitzt, oder was dasselbe heißt, man sieht das verkehrte Verhältniß der Dichten zweier Gase bei gleichen Temperaturen und gleichem Drucke als das Verhältniß ihrer specifischen Expansivkräfte an. Demnach ist die specifische Expansivkraft des Wasserstoffgases 14mal größer als jene der atmosphärischen Luft. Die absolute Expansivkraft ist die Expansivkraft eines Gases, ohne Beziehung auf eine bestimmte Dichte und Temperatur.

Nennt man die Dichten zweier Gase D, D′, ihre Temperaturen nach dem Centesimalthermometer T, T′, nach dem Luftthermometer mit der in 232 erklärten Scala t, t′, die specifischen Expansivkräfte

der Gase, nach einer beliebigen Einheit gemessen, e, e', und ihre absoluten Expansivkräfte E, E', so hat man offenbar

$$E : E' = D\,(1 + \alpha T)\,e : D'\,(1 + \alpha T')\,e',$$

wobei α den Ausdehnungscoefficienten der Gase bezeichnet (231), oder wegen $1 + \alpha T : 1 + \alpha T' = t : t'$, $E : E' = Dte : D't'e'$.

237. Ein vorzügliches Mittel die Abhängigkeit der Expansivkraft der Luft von ihrer Dichte in das Licht zu setzen, ist die Luftpumpe, ein Instrument, welches dazu dient, die Luft in einem gegebenen Raume zu verdünnen oder zu verdichten. Es wurde von Otto Guerike, einem Deutschen, im Jahre 1650 erfunden, und ist seitdem der Gegenstand vieler Verbesserungsversuche gewesen. Wir beschränken uns hier auf die Angabe der einfachsten, zweckmäßigsten und daher auch im allgemeinen Gebrauche befindlichen Formen. Die wesentlichen Bestandtheile der Luftpumpe sind: 1) Ein hohler, inwendig sehr glatter Cylinder A (Fig. 80), von Glas oder Metall (der Stiefel), dem man in der Regel eine verticale Lage gibt, und in dessen Höhlung 2) ein Kolben oder Stempel B luftdicht passet, und mittelst eines durch eine Kurbel oder einen Hebel hin und her zu drehenden Rades, dessen Zähne in jene der Kolbenstange eingreifen, auf und ab bewegt werden kann. Von dem Boden des Stiefels führt eine Röhre als Luftkanal zu einer wohl abgeschliffenen Platte C, dem Teller, worauf meistens eine starke Glasglocke, der Recipient zu stehen kommt; doch ist es manchmal auch nöthig, ein kugelförmiges gläsernes oder metallenes Gefäß an das Ende der Röhre zu schrauben. Der Stiefel ist noch 3) mit einer Vorrichtung versehen, um nach Bedürfniß eine Communication zwischen ihm und dem Recipienten oder der äußeren Luft herzustellen oder abzusperren. Diese Vorrichtung ist in der Regel entweder ein Hahn, mit solchen Bohrungen, daß nach Maßgabe seiner Stellung jedem dieser Zwecke entsprochen wird, und den man auch durch einen Schieber mit den erforderlichen Löchern oder Einschnitten ersetzen kann, oder sie besteht in einer Verbindung zweier Ventile, wovon eines jedenfalls am Boden des Stiefels, das andere aber meistens im Kolben sich befindet, welcher in diesem Falle durchbohrt ist. Nach der Verschiedenheit dieser Herstellungs- und Hemmungsmittel der Communication zwischen den vorgenannten Haupttheilen der Luftpumpe unterscheidet man zwei Arten derselben, nämlich: Hahn- und Ventilluftpumpen. In beiden Formen enthält die Luftpumpe entweder einen oder zwei Stiefel, und heißt darnach eine ein- oder zweistieflige. Die Leitung der Ventile bedarf keiner besondern Hülfe von Seite des Operirenden, sondern wird durch den Gang der Maschine selbst bewirkt; die Bewegung des Hahnes aber ist bei manchen Instrumenten ganz den Händen des Experimentators überlassen. Doch läßt sie sich auf eine einfache Weise durch den Druck der Kurbel gegen einen mit dem Hahne D verbundenen, etwas beweglichen Ansatz E bewirken.

238. Wir machen hier mit der Betrachtung der Hahnluftpumpen den Anfang. Der Hahn D (Fig. 80) ist mit zwei Bohrun-

gen versehen, wovon die eine xy (Fig. 81 a und b) quer durch selben geht, die andere aber uwz 90 Grade weit von den Mündungen der ersteren anfängt, bis zur Mitte des Hahnkörpers geht, und dann die Richtung seiner Längenaxe annimmt. Gibt man dem Hahne die Stellung a, so befindet sich der Stiefel in Verbindung mit dem Recipienten; erhält der Hahn die Stellung b, so ist der Recipient abgeschlossen, und der Stiefel steht mit der äußeren Luft in Communication. Man kann mit einer solchen Luftpumpe nach Gefallen die Luft in dem auf den Teller gut passenden Recipienten verdünnen oder verdichten. Das Verdünnen geschieht auf folgende Art: Man richtet den Hahn so, daß vom Recipienten Luft in den Stiefel gelangen kann, und zieht den Kolben in die Höhe. Hierauf stellt man durch Drehen des Hahnes die Communication zwischen der äußeren Luft und der inneren im Stiefel her, drückt den Kolben hinab, und wiederholt das ganze Verfahren, so oft man will und es der Zweck erfordert. Soll atm. Luft in einem Gefäße verdichtet werden, so befestigt man letzteres stark und luftdicht auf dem Teller, dreht den Hahn so, daß Luft von außen in den Stiefel dringen kann, und hebt den Kolben, dreht dann den Hahn, um der Luft im Stiefel den Eintritt in den Recipienten zu verschaffen, drückt den Kolben hinab, und wiederholt dieses Verfahren, so oft man es für nöthig hält, oder es die Festigkeit des Gefäßes erlaubt. Die Einrichtung einer zweistiefligen Hahnluftpumpe bedarf keiner besonderen Erklärung; sie ist nichts weiter als die Verbindung zweier einstiefligen, deren Luftkanäle vor dem Teller sich vereinigen. Da ein Stempel hinauf geht, während der andere abwärts getrieben wird, so geht die Verdünnung oder Verdichtung in einem fort, und die Hälfte der Zeit wird erspart.

239. Der Hauptnutzen der Luftpumpe für den Physiker beruht auf der damit möglichen Verdünnung der Luft. Es ist dabei unerläßlich, in jedem Augenblicke zu wissen, wie weit diese gediehen sey. Dazu dient die Barometerprobe, ein kurzes, meistens heberförmiges Barometer (Fig. 82), welches man unter den Recipienten setzt, wenn nicht, wie es in der Regel geschieht, schon vom Künstler die Barometerprobe an der Seite des Tellers als bleibender Bestandtheil der Luftpumpe angebracht ist (Fig. 80 F) und damit nach Gefallen in Verbindung gesetzt werden kann, was schon aus dem Grunde dringend nöthig ist, weil nicht jedes Gefäß, aus dem man die Luft zu ziehen beabsichtiget, die Einbringung der Barometerprobe gestattet. Die Höhe a der in jedem Augenblicke von der Luft im Recipienten getragenen Quecksilbersäule gibt die unter demselben herrschende Spannkraft der Luft an; wird nun bei dem äußeren Barometerstande b experimentirt, so ist $\frac{a}{b}$ die Dichte der Luft im Recipienten, in so ferne man nämlich die Dichte der äußeren Luft als die Einheit betrachtet, oder es ist die Luft im Recipienten $\frac{b}{a}$ mal verdünnt. Doch setzt diese Angabe voraus, daß man es mit trockener Luft zu thun habe. Zur

Beurtheilung des Antheiles der Dünste an dem Gange der Versuche mit einer Luftpumpe wird die Folge verhelfen.

Soll eine Luftpumpe zu feineren physikalischen Experimenten brauchbar seyn, so muß sie bei 28 Zoll Barometerstand, die Quecksilbersäule wenigstens auf 1 Linie herabbringen, d. h. sie muß eine 300malige Verdünnung der Luft gestatten. Eine heberähnliche Barometervorrichtung kann auch zur Wahrnehmung des Grades der Verdichtung der Luft oder eines andern Gases verwendet werden, nur muß der geschlossene Schenkel etwas Luft enthalten. Mißt man das Volum derselben vor und bei dem Versuche, und reducirt es wegen des ungleichen Quecksilberstandes in beiden Schenkeln auf die Spannung der Luft im Recipienten, so zeigt der Quotient beider Volume die bewirkte Verdichtung an (Vergl. 234).

240. Sowohl dem Verdünnen als dem Verdichten der Luft durch eine Hahnluftpumpe setzt der zwischen dem Boden des Stiefels und dem Hahne befindliche Raum, zu welchem die atmosphärische Luft Zutritt erhält, ohne bei dem tiefsten Stande des Kolbens daraus vertrieben werden zu können, und den man **schädlichen Raum** nennt, eine Grenze. Ist nämlich die Luft im Recipienten bereits so dünn, wie es die im schädlichen Raume enthaltene wird, wenn sie sich bei dem Aufziehen des Kolbens in den Stiefel ausbreitet, so fällt jeder Grund zum Uebertritte irgend eines Lufttheilchens aus dem Recipienten in den Stiefel, mithin die weitere Verdünnung weg. Oder: da der schädliche Raum nicht vom Kolben erreicht werden kann, so wird die Luft nur so weit verdünnt werden können, bis ein Volum derselben, das den ganzen Stiefel ausfüllt, in den schädlichen Raum zusammengedrückt, eine Dichte hat, welche jener der äußeren Luft gleich kommt, weil in diesem Falle beim Hineinstoßen des Kolbens keine Luft aus dem Stiefel mehr getrieben werden kann. Allein es ist klar, daß selbst diese Verdünnung nie vollkommen erreicht wird, sondern daß man im günstigsten Falle, nämlich wenn das Instrument gut luftdicht schließt, sich ihr nur nach einer unzählbaren Menge von Kolbenzügen so weit nähert, daß die Differenz zwischen dem vorhandenen Zustande der Luft und dieser Grenze unmerklich ist. Auch die Verdichtung kann nur beinahe so weit gebracht werden, bis die im Stiefel enthaltene Luftmasse von der Dichte der äußeren Luft, durch Zusammendrücken in den schädlichen Raum, die Dichte derjenigen erreicht, welche im Recipienten eingeschlossen ist. Nennen wir die Größe des schädlichen Raumes s, die Größe des Stiefels sammt schädlichen Raum S, so ist die äußerste Grenze der Verdünnung der Bruchtheil $\frac{s}{S}$ und die äußerste Grenze der Verdichtung das $\frac{S}{s}$-fache der Dichte der äußeren Luft.

Die Vollkommenheit einer Hahnluftpumpe hängt nebst ihrem luftdichten Verschlusse vornehmlich davon ab, daß der schädliche Raum gegen den Stiefel sehr klein sey, weßwegen man den Hahn möglichst nahe an den Stiefel setzt und dem Kolben eine solche Form gibt, daß er beim Hinabgehen den Raum von ihm bis zum Hahne möglichst vollstän-

dig ausfüllt. Da der schädliche Raum einer Hahnluftpumpe während des Verdünnens bei jedem Kolbengange mit der äußeren Luft in Verbindung tritt, so ist leicht einzusehen, daß bei einer doppeltstiefligen Pumpe, deren Stiefel von ungleicher Wirksamkeit sind, der Erfolg nur so weit geht, als ihn der minder wirksame Stiefel zu leisten vermag. Man kann der Größe des dadurch entstehenden schädlichen Raumes ungeachtet, beiden Stiefeln einen gemeinschaftlichen Hahn geben, wenn man nur daran nach der von Graßmann erdachten Einrichtung eine solche Bohrung anbringt, daß der Stiefel, in welchem der Stempel zu Boden gedrückt ist (dessen schädlicher Raum also mit der äußeren Luft in Verbindung steht), ehe er mit dem Recipienten in Communication gesetzt wird, zuerst durch eine Mittelstellung des Hahnes mit dem andern, verdünnte Luft enthaltenden, Stiefel in Verbindung tritt, und sich so eines bedeutenden Theils der Luft in seinem schädlichen Raume entlediget. Zu demselben Zwecke läßt sich auch statt des Hahnes ein Schieberventil, das die nöthigen Communicationen darbietet, in Anwendung bringen.

241. Zum Verdichten der Luft bedient man sich gerne einer sogenannten Compressionspumpe. Sie besteht aus einem hohlen Cylinder (Fig. 83), der in B mit einem Schraubengewinde versehen ist, um ihn an den Recipienten anschrauben zu können. Ober diesem hat er ein Ventil, das sich von innen nach außen öffnet, und nicht weit vom oberen Ende eine Oeffnung C. In die Höhlung des Cylinders paßt der Kolben. Beim Gebrauche befestiget man die Pumpe an den Recipienten, erhebt den Kolben bis über die Oeffnung C, drückt ihn bis zum Boden herab, und wiederholt dieses Verfahren dem Zwecke gemäß. Soll irgend eine andere künstlich erzeugte Luftart verdichtet werden, so braucht man nur an C eine mit dieser Luft gefüllte Blase zu befestigen, und dann wie vorhin zu verfahren.

Da das Comprimiren der Luft in Gefäßen, die einem starken Drucke nicht gewachsen sind, gefährlich werden kann, so läßt sich durch Anordnung des schädlichen Raumes (der hier aber ein nützlicher wird) bewirken, daß die Verdichtung der Luft auch von einem Unkundigen nicht über die gehörige Grenze getrieben werden könne.

242. Wo es sich um rasche, wenn auch nicht sehr weit getriebene Luftverdünnung handelt, wendet man eine der so eben beschriebenen Vorrichtung ähnliche Handpumpe an. Statt der Seitenöffnung C befindet sich entweder eine Oeffnung am Boden des Cylinders, und ist mit einem nach außen sich öffnenden Ventil geschlossen, oder es ist der Stempel durchbohrt, und trägt ein solches Ventil; ein zweites Ventil sperrt den Eingang zum Recipienten, läßt aber aus diesem Luft in den Stiefel treten. Wird der Kolben nach außen gezogen, so schließt der äußere Luftdruck das erstere Ventil, zugleich öffnet die Luft im Recipienten in Folge ihrer Spannkraft das andere, und ein Theil dieser Luft geht in den Stiefel; wird der Kolben in den Stiefel zurückgeschoben, so verschließt sich letzteres Ventil und das erstere öffnet sich, durch welches die Luft aus dem Stiefel entweicht, sobald sie nämlich, indem sie in dem Stiefel zusammengedrängt wird, eine Spannkraft bekommen hat, welche hinreicht, sowohl den äußeren atmosphärischen

Druck, als auch den Widerstand des Ventils zu überwinden. Wenn gleich hier der schädliche Raum sehr klein gemacht werden kann, so tritt dafür der Umstand ein, daß endlich die Luft im Stiefel das zum äußeren Raume führende Ventil, und eben so die Luft im Recipienten, das zum Stiefel führende nicht mehr zu öffnen vermag, wodurch der weiteren Verdünnung bald eine Grenze gesetzt ist.

Zu genaueren Versuchen dient vornehmlich die Einrichtung, welche Fortin den Ventilluftpumpen gegeben hat (Fig. 84). Der Stempel ist zweifach durchbohrt; die eine Durchbohrung enthält das beim Niedergange des Kolbens nach außen sich öffnende Ventil; durch die andere Bohrung geht eine dünne Stange luftdicht, die am unteren Ende einen Stöpsel trägt, der in eine am Boden des Stiefels befindliche, zum Recipienten führende Oeffnung genau paßt, und selbe bei dem Niedergange des Kolbens verschließt. Wird der Kolben gehoben, so geht diese Stange mit, und die Luft kann aus dem Recipienten in den Stiefel treten. Hiernach sieht man leicht, wie durch abwechselndes Spiel des Kolbens die Luft im Recipienten nach und nach dünner wird.

Ventilluftpumpen stehen den Hahnluftpumpen in so fern nach, als sie bei der gewöhnlichen Einrichtung sich nicht zugleich zum Verdünnen und Verdichten der Luft gebrauchen lassen; da jedoch letztere Operation selten vorkommt, und sich mittelst der einfachen Compressionspumpe leicht vollziehen läßt, so ist dieser Mangel nicht erheblich. Dagegen besitzen Ventilluftpumpen eine einfachere Construction, und es fällt die Steuerung des Hahnes weg. Allein die Vortheile der Ventilluftpumpen treten vorzüglich hervor, wenn man selbe mit zwei Stiefeln versieht. Da der schädliche Raum, wenn die Verdünnung der Luft so weit gediehen ist, daß das Kolbenventil nicht mehr gehoben wird, von der äußeren Luft abgesperrt bleibt, so bringt eine solche Pumpe immer den Effect hervor, welchem der bessere Stiefel gewachsen ist, im Gegensatze mit dem, was bei Hahnluftpumpen obwaltet. Ferner hilft der auf den einen Stempel bei seinem Niedergange wirkende Luftdruck zum Theil die Last überwinden, welche aus dem Luftdrucke auf den anderen Stempel bei seinem Aufziehen erwächst.

Eine besondere Brauchbarkeit haben die Ventilluftpumpen durch eine von Babinet erdachte Verbesserung erhalten, welche die Verdünnung auf einen bisher nicht gekannten Grad zu treiben gestattet. Es wird nämlich, wenn bei der gewöhnlichen Handhabung der zweistiefligen Luftpumpe die Verdünnung der Luft so weit gebracht worden ist, daß das Spiel der Kolbenventile aufhört, durch bloße Aenderung der Stellung eines Hahnes die Communication des einen Stiefels mit dem Recipienten unterbrochen, und dafür eine eigene Verbindung zwischen beiden Stiefeln hergestellt, so daß nun bloß der andere Stiefel aus dem Recipienten Luft aufnimmt, der erste Stiefel dagegen aus dem zweiten Luft saugt. Dieser Hahn ist an dem Einmündungsorte der von den Stiefeln ausgehenden Kanäle in den zum Recipienten führenden Gang angebracht. Die Fig. 85, in welcher zur Erleichterung der Uebersicht die beiden Stiefel aus der verticalen Lage in die horizontale versetzt, und die Dimensionen des Hahnes vergrößert dargestellt erscheinen, wird hierüber Aufschluß geben. Bei der gewöhnlichen Anordnung der Luftpumpe stehen die beiden Stiefel A, B mit dem Recipienten durch die Canäle xya und uvb, die Bohrung ab des

Hahnes und den zum Recipienten führenden Weg c d in Verbindung, und die Stiefel schöpfen abwechselnd aus dem Recipienten. Soll aber die Babinet'sche Anordnung wirksam werden, so wird der Hahn in die Position II. versetzt. Hier ist der Weg u v w vom Stiefel B zum Recipienten abgesperrt, dagegen eröffnet sich die Communication u v f e z zwischen beiden Stiefeln, während die Verbindung des Stiefels A mit dem Recipienten durch den Canal x y c b d unterhalten wird. Geht der Stempel in A in die Höhe, so tritt aus dem Recipienten Luft in den Stiefel A und die Luft B wird in den schädlichen Raum zusammengepreßt, und kann sich bei hinreichender Expansivkraft das Ventil im Stempel öffnen; bei dem Herabgehen des Stempels A wird die Luft aus A in B getrieben. Ist s der schädliche Raum des Stiefels B, S der Inhalt dieses Stiefels sammt schädlichen Raum, so ist bei der gewöhnlichen Anordnung $\frac{s}{S}$ die Grenze der Luftverdünnung im Recipienten. Bei der Babinet'schen ist sie, wenn s' den schädlichen Raum des Stiefels A (zu welchem schädlichen Raume der Canal z e f v u mitgehört), und S' das Volum des Stiefels A sammt schädlichem Raum bezeichnet, die Grenze der Luftverdünnung $= \frac{s s'}{S S'}$ also kleiner als $\frac{s s'}{S^2}$. Ist z. B. der Canal z e f v u der $\frac{1}{100}$ Theil von dem Volum jedes der Stiefel, und gilt der schädliche Raum wegen der Last des Kolbenventiles für eben so groß, so geht die Verdünnung wenigstens bis zum $\frac{1}{10000}$ Theile der Dichte der äußeren Luft. (Ueber Luftpumpen handelt ausführlich Gehler's Wörterbuch neu bearbeitet Bd. 6. Abth. 1.)

243. Unter den vielen Versuchen, die sich mit der Luftpumpe anstellen lassen, beweisen folgende die Ausdehnsamkeit und den damit zusammenhängenden Druck der atmosphärischen Luft, und gehören demnach hieher: 1) Eine schlaffe zugebundene Blase schwillt unter dem Recipienten an, wenn man die Luft verdünnt, und hebt ein bedeutendes Gewicht. 2) Ein schwaches, geschlossenes, mit Luft gefülltes Gefäß zerspringt daselbst. 3) Das Quecksilber in einem Barometer fällt in verdünnter Luft nach Maßgabe der Verdünnung. 4) Der Recipient haftet nach Verdünnung der Luft fest auf dem Teller. 5) Metallene hohle Halbkugeln (Magdeburgische Halbkugeln, nach Guericke's Wohnort so genannt) können nur mit einer bedeutenden Gewalt getrennt werden, wenn man in ihnen die Luft verdünnt. 6) Ist der Recipient oben durch eine Blase geschlossen, so wird diese eingedrückt. 7) Ist er oben mit einem hölzernen Becher versehen, der Quecksilber enthält, so wird dieses durch das Holz gedrückt. 8) Ein Gefäß mit einer engen Mündung läßt sich, wenn diese unter Wasser taucht, unter dem Recipienten damit füllen, indem anfänglich, beim Verdünnen, Luft aus dem Gefäße entweicht, und dann bei dem Zulassen der Luft unter den Recipienten Wasser in das Gefäß getrieben wird.

Mittelst der Luftpumpe läßt sich auch ein Beweisgrund des Vorhandenseyns der Porosität der Körper darlegen, denn 9) viele Flüssigkeiten und auch feste Körper geben in verdünnter Luft eine Menge Luftblasen von sich; und eben so läßt sich die Gleichheit der Schwere der Körper zeigen, denn 10) ganz ungleichartige Körper, z. B. eine

zarte Feder, ein Papier- oder Metallstückchen fallen in verdünnter Luft gleich schnell; ein Fallschirm ist da wegen der beträchtlichen Verminderung des Widerstandes der Luft ganz unwirksam.

B. Schwere, specifisches Gewicht und Dichte der Gase.

244. Daß die atmosphärische Luft wie auch jedes andere Gas schwer ist, läßt sich auf das augenscheinlichste durch einen Versuch mit der Luftpumpe beweisen. Wägt man nämlich ein mit was immer für einer Luftart gefülltes Gefäß ab, verdünnt hierauf die Luft in selbem, und bringt es wieder an die Wage, so findet man es leichter. Dasselbe Verfahren kann, mit gehöriger Genauigkeit geübt, selbst zur Ausmittelung des specifischen Gewichtes der Luftarten angewendet werden. Man nimmt einen Ballon, der wenigstens 250—300 Kubikzoll faßt, mit einem Hahne luftdicht verschlossen und an eine gute Luftpumpe angeschraubt werden kann. Nachdem man in demselben die Luft so stark als möglich verdünnt hat, schließt man den Hahn, bringt den Ballon an eine empfindliche Wage, bemerkt sein Gewicht $= P$, öffnet hierauf den Hahn und bestimmt sein Gewicht $= P'$ von Neuem. Setzt man voraus, daß durch die Luftpumpe ein ganz luftleerer Raum erzeugt wurde; so ist $P' - P$ das Gewicht der im Ballon enthaltenen Luft. Kennt man nun das Volum V des Ballons; so ist $\frac{P' - P}{V}$ das specifische Gewicht der atm. Luft. Auf diese Weise überzeugte man sich, daß ein Kubikfuß atm. Luft bei 0° C. und einem Luftdrucke von 760 Millimeter 564 Gran W. G., mithin ein Kubikzoll 0,326 Gr. wiege. Es ist daher die atm. Luft bei 0° C. und 760 M. M. Druck nahe 770mal (genauer 769,44mal) leichter als Wasser. Läßt man in den Ballen so, wie er nach Verdünnung der Luft an der Wage hängt und das Gewicht P hat, statt atm. Luft, irgend eine andere Luftart eindringen, und findet jetzt dessen Gewicht $= Q$; so ist $\frac{Q - P}{V}$ das specifische Gewicht des Gases, welches sich im Ballon befindet. Handelt es sich bloß um Vergleichung der Dichte d eines Gases mit jener der atmosphärischen Luft unter gleichen Umständen, in welchem Falle man der Einfachheit wegen die Dichte der atm. Luft als Einheit annimmt, so ist man der schwierigen Volumsbestimmung des Ballons überhoben, denn das Verhältniß der Gewichte $P' - P$ und $Q - P$ der Luft und des Gases ist auch jenes ihrer Dichten, so daß man hat $d : 1 = Q - P : P' - P$, mithin

$$d = \frac{Q - P}{P' - P}.$$

Alle diese Versuche setzen voraus, daß die Luftarten ganz rein seyen, daß ihre Dichte und die Capacität des Ballons, so wie sein Gewicht in der Luft, unverändert bleiben, und daß mittelst der Luftpumpe ein völlig luftleerer Raum erzeugt werden könne, lauter Dinge, die in der Wirklichkeit nicht Statt finden; denn die Luftarten enthalten immer eine größere oder geringere Menge von Wasserdünsten, die auf ihr specifisches Gewicht einen nicht unbedeutenden Einfluß haben, dieses ändert sich mit dem Drucke der äußeren Luft und mit ihrer Tempera-

tur, letztere hat sogar auf die Capacität des Gefäßes und auf sein Gewicht in der Luft einen Einfluß, der zwar sehr gering ist, und daher manchmal übersehen werden kann, bei sehr genauen Versuchen aber doch in Anschlag gebracht werden muß. Aus diesen Gründen wählt man zu Versuchen dieser Art nur solche Luft, die vorher gut ausgetrocknet wurde, und arbeitet nur bei einer bestimmten Temperatur und bei einem bestimmten Luftdrucke, oder reducirt die unter anderen Umständen erhaltenen Resultate auf die Normaltemperatur und auf den Normaldruck. Letzteres läßt sich nach den oben bewiesenen Gesetzen leicht bewerkstelligen. Ist nämlich S das specifische Gewicht, welches man bei der Temperatur T und unter dem Luftdrucke B gefunden hat, s das auf den normalen Stand des Thermometers und Barometers 0° C. und b reducirte, so hat man nach 231, weil sich die Expansivkräfte der Luft wie die Barometerstände, und die Dichten der Körper überhaupt wie die specifischen Gewichte verhalten:

$$B : b = S\,(1 + \alpha T) : s \text{ mithin } s = \frac{S\,(1 + \alpha T)\,b}{B}$$

245. Man kann die Dichte eines Gases auch unmittelbar aus seiner chemischen Zusammensetzung berechnen, wenn die Dichten der Bestandtheile und das Verhältniß, in welchem sie sich zu dem gegebenen Gase verbinden, so wie die etwa bei der Verbindung eintretende Volumveränderung gegeben sind. Gesetzt es bestehe ein Gas aus a Raumtheilen eines Stoffes, dessen Dichte d ist, und aus a' Raumtheilen eines solchen, dessen Dichte d' heißt, mithin im Ganzen aus a + a' Raumtheilen. Da ist nun ad die Masse des einen, a'd' die Masse des anderen Bestandtheiles, ad + a'd' die Masse des Ganzen und $\frac{ad + a'd'}{a + a'}$ die Masse des letzteren unter dem Volum = 1, also die Dichte des zusammengesetzten Gases, falls bei der Verbindung der beiden Bestandtheile keine Ausdehnung oder Zusammenziehung erfolgt ist. Findet aber das eine oder das andere Statt, so ändert sich dadurch diese Dichte des Gases. Gesetzt es sey bei der chemischen Verbindung der Bestandtheile das Volum a + a' in A übergegangen, so ist, wenn man die Dichte des Gases mit D bezeichnet:

$$D = \frac{ad + a'd'}{A}.$$

Folgende Beispiele mögen zur Erläuterung des Gebrauches dieser Formel dienen: 2 Volume Stickstoffoxydgas (Salpetergas) enthalten 1 Volum Stickgas und 1 Vol. Sauerstoffgas von gleicher Temperatur und Spannung. Die Dichte des Stickgases ist 0,976; die Dichte des Sauerstoffgases 1,1026, wenn die Dichte der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen wird. Es ist also hier

$$a = 1,\ d = 0{,}976,$$
$$a' = 1,\ d' = 1{,}1026 \text{ und } A = 2;$$

mithin die Dichte des Stickstoffoxydgases

$$D = \frac{ad + a'd'}{A} = 2{,}0786 : 2 = 1{,}0393.$$

2 Volume Stickstoffoxydulgas bestehen aus 2 Vol. Stickgas und 1 Vol. Sauerstoffgas. In diesem Falle ist

$$a = 2,\ d = 0{,}976,$$
$$a' = 1,\ d' = 1{,}1026 \text{ und } A = 2;$$

mithin die Dichte des Stickstoffoxydulgases

$$D = 3{,}0546 : 2 = 1{,}5273.$$

2 Vol. Ammoniakgas werden durch Vereinigung von 3 Vol. Wasserstoffgas (dessen Dichte 0,0688 ist) und 1 Vol. Stickgas gebildet. Setzt man

$$a = 3, \quad d = 0{,}0688,$$
$$a' = 1, \quad d' = 0{,}976;$$

so folgt hieraus, wegen $A = 2$, die Dichte des Ammoniakgases

$$D = 1{,}1824 : 2 = 0{,}5912.$$

Alle diese Resultate stimmen mit den durch directe Wägungen gefundenen gut überein.

246. Da die hier betrachteten Dichten der Gase sich auf einen gleichen Luftdruck und auf gleiche Temperaturen beziehen, so stehen sie im verkehrten Verhältnisse der specifischen Expansivkräfte (236), und man kann letztere leicht aus ersteren finden, wenn man die specifische Expansivkraft irgend eines Gases zur Einheit wählt. In der Regel setzt man die specifische Expansivkraft der atmosphärischen Luft = 1. Da nun auch die Dichte derselben = 1 ist, so hat man, wenn e und d die specifische Expansivkraft und Dichte eines anderen Gases vorstellen,

$$e : 1 = 1 : d; \quad \text{mithin } e = \frac{1}{d}.$$

Sind daher E, E' die Expansivkräfte, welche zwei Gase bei den Dichten D, D' und den nach dem Luftthermometer gemessenen Temperaturen t, t' zeigen, ferner d, d' ihre Dichten bei irgend einer für beide Gase gleichen Spannkraft und Temperatur, so folgt aus 236:

$$E : E' = \frac{Dt}{d} : \frac{D't'}{d'} \quad \text{oder auch} \quad D : D' = \frac{Ed}{t} : \frac{E'd'}{t'}.$$

In dem besonderen Falle, wenn beide Gase einerlei Temperatur besitzen, also $t = t'$ ist, gilt demnach die Proportion

$$D : D' = Ed : E'd'.$$

Folgende Tabelle gibt die Werthe von d und e für einige Gase, wobei jedoch in Betreff der Dichten der Gase den Resultaten einer auf verläßliche Principien gegründeten Rechnung vor den Ergebnissen directer Wägungen, bei welchen die Vermeidung beträchtlicher Fehler in vielen Fällen äußerst schwierig ist, der Vorzug eingeräumt wurde. Die Dichten der leichter condensirbaren Gase, als des schwefligsauren, des Cyangases 2c. stehen zu jener der atm. Luft bei stärkerem Drucke in einem anderen Verhältnisse, und zwar erscheinen die Dichten dieser Gase größer, als selbe in der Tabelle angegeben werden, weil die Molekel, wenn sich die Gase dem Condensationspuncte nähern, mehr an einander rücken, als es nach dem Mariotte'schen Gesetze seyn sollte. (Vergl. 229.)

G a s e.	Dichte.	Specifische Expansivkraft.
Atmosphärische Luft	1,0000	1,0000
Sauerstoffgas	1,1026	0,9069
Stickgas	0,9760	1,0246
Wasserstoffgas	0,0688	14,535
Chlorgas	2,440	0,4098
Stickstoffoxydulgas	1,5273	0,6547
Stickstoffoxydgas	1,0393	0,9622
Ammoniakgas	0,5912	1,6915
Cyangas	1,8188	0,5498
Grubengas	0,559	1,7889
Oehlbildendes Gas	0,9804	1,0200
Kohlenoxydgas	0,9727	1,0281
Chlorkohlenoxydgas	3,4127	0,2930
Schwefligsaures Gas	2,2116	0,4522
Kohlensäuregas	1,5240	0,6562
Salzsäuregas	1,2544	0,7972
Schwefelwasserstoffsäuregas	1,1778	0,8490

C. Gleichgewicht der Gase.

247. Alle jene Gesetze des Gleichgewichtes, welche für Flüssigkeiten überhaupt aufgestellt wurden (177 u. f.), sind natürlich unbeschränkt auf Gase anwendbar, weil diese auch zu den Flüssigkeiten gehören; von denjenigen Gesetzen hingegen, die für tropfbare Flüssigkeiten erwiesen wurden, lassen sich nur jene auf Gase beziehen, die auf der Verschiebbarkeit der Theile und auf der Schwere beruhen, von der Ausdehnsamkeit aber unabhängig sind.

248. Man denke sich die atmosphärische Luft oder ein anderes Gas im freien Raume, und untersuche, auf Grundlage der Eigenschaften eines ausdehnsamen Körpers, die Bedingungen seines Gleichgewichtes, und zwar zuerst für die obersten Theile der Luftmasse. Jedes dieser Theilchen sucht vermöge seiner Schwere zu sinken und vermöge seiner Ausdehnsamkeit sich nach allen Seiten auszudehnen. Dem Bestreben, sich seitwärts und nach abwärts auszudehnen und zu sinken, muß der Widerstand der daneben und unterhalb befindlichen Theile, dem Bestreben sich aufwärts auszudehnen, die Schwere das Gleichgewicht halten. Letzteres kann in der Nähe der Erdoberfläche, wo die Ausdehnsamkeit der Gase ihre Schwere weit übertrifft, nicht wohl Statt haben, darum lassen sich auch Gase nicht wie tropfbare Flüssigkeiten, in offenen Gefäßen aufbewahren; nur in dem großen Gasmeere, unserer Atmosphäre, ist eine freie Oberfläche mit dem Gleichgewichte verträglich, weil an ihrer äußersten Grenze die Ausdehnsamkeit der Luft sehr gering ist und darum mit der Schwere im Gleichgewichte stehen kann. Auf dieser freien Oberfläche müssen (180) die Richtungen der Schwere senkrecht stehen, und diese nahe die Gestalt einer Kugel haben. Daher sagt man, die atm. Luft hülle die Erde wie eine kugelförmige Schale ein. Die Theilchen, welche sich im Inneren eines

Gases befinden, werden nicht bloß durch ihre Schwere, sondern auch durch das Gewicht der darüber befindlichen Gassäule abwärts und nach allen Seiten gedrückt, und müssen durch ihre Ausdehnsamkeit und den Widerstand der benachbarten Theile diesem Drucke widerstehen. Hieraus erhellet nicht nur warum die atmosphärische Luft, wie wir selbe in ihrem natürlichen Zustande um uns antreffen, sich in einem bestimmten Grade der Zusammendrückung befindet, und dem gemäß eine bestimmte Spannkraft äußert, sondern auch daß das Vorhandenseyn dieser Spannkraft mit Recht als ein Beweisgrund für die Schwere der darüber liegenden Luft angesehen wird. In diesem Sinne kann man also sagen, der Torricellische Versuch (223) beweise die Schwere der Luft. Diejenigen Lufttheile, welche von dem Erdmittelpuncte gleich weit entfernt sind, werden, in so fern man die Luft in dem Gleichgewichtszustande befindlich denkt, mit gleichen Kräften abwärts gedrückt, und müssen demnach auch gleiche Expansivkräfte besitzen; an allen Orten, die eine gleiche Entfernung vom Erdmittelpuncte haben, muß dem zu Folge die Barometerhöhe gleich groß seyn. Für nicht weit von einander entfernte Orte findet dieses wirklich Statt; bei größeren Entfernungen verursachen aber die beständigen Strömungen, welche in der Luft Statt finden, nicht unbedeutende Störungen, doch stimmen auch hier die, aus vielen Beobachtungen genommenen, mittleren Barometerhöhen mit einander überein. Der auf ein Gastheilchen nach abwärts wirkende Druck ist offenbar desto größer, je tiefer dieses Theilchen unter der Oberfläche der Gasmasse liegt; darum muß auch die Ausdehnsamkeit, und bei einerlei Temperatur, auch die Dichte derselben von oben nach unten zu-, und daher in entgegengesetzter Richtung abnehmen. Diese Abnahme der Dichte und des Druckes der Luft nach oben hin ist in der Atmosphäre sehr merklich. Bringt man eine wohl verschlossene, Luft enthaltende, aber schlaffe Blase vom Fuße eines nur mäßig hohen Berges auf den Gipfel desselben; so findet man, daß sie anschwillt. Auch das Barometer zeigt einen niedrigern Quecksilberstand, wenn man es von einem niedriger gelegenen Orte in einen höher gelegenen überträgt.

Nehmen wir an der Erdfläche den Luftdruck = 12¾ W. Pfd. auf den Quadratzoll und die Oberfläche eines erwachsenen Menschen = 15 Q. Fuß an, so ergibt sich ein Totaldruck auf dieselbe von 27540 Pfd. Der Druck, welchen die atmosphärische Luft auf die ganze Erde ausübt, oder das absolute Gewicht der ganzen Atmosphäre beläuft sich nahe auf 100000 Billionen Zentner W. G. Diesen Druck empfinden wir nicht, weil er von allen Seiten, selbst von innen heraus wirkt, und wir unseren Zustand nicht mit dem, wo dieser Druck fehlt, vergleichen können; selbst kleine Veränderungen dieses Druckes, wie sie oft in der Atmosphäre Statt finden, treten für den gesunden Menschen unbemerkt ein, und geben sich nur bei sehr empfindsamen Individuen durch ein Uebelbefinden zu erkennen. Größere Veränderungen, wie sie bei denen eintreten, die von hoch liegenden Gegenden, wo der Luftdruck viel geringer ist, in tiefer liegende kommen, oder umgekehrt, verursachen selbst bei gesunden und kräftigen Individuen ein Uebelbefinden, Mattigkeit und Beklemmung. In der Höhe von etwa 5 Meilen

über der Erdoberfläche ist die Luft so sehr verdünnt, wie wir dieses in unseren Laboratorien mit der besten Luftpumpe kaum bewerkstelligen können; selbst auf hohen Bergen hat sie schon eine für die Lebensfunctionen des Menschen zu geringe Dichte. Kommt man in die Höhe von 1500 W. Kl. und darüber, so stellet sich eine ungewöhnliche Müdigkeit ein, man muß fast alle hundert Schritte einige Minuten ausruhen; dazu gesellt sich ein lästiges Ohrenstechen, man nimmt wahr, daß aus den Ohren von Zeit zu Zeit Luftbläschen entweichen, man hört kaum 10 Schritte weit, das Athmen wird beschwerlich, der Puls schlägt schnell, oft tritt sogar Neigung zum Erbrechen ein, selbst Wunden heilen langsamer und Arzeneimittel wirken schwächer.

Das Fallen des Quecksilbers im Barometer, wenn man damit an höher liegende Orte geht, hat zuerst Pascal vermuthet, und es wurde die Richtigkeit dieser Vermuthung durch die im J. 1648 auf dem Puy-de-Dome in Frankreich angestellten Beobachtungen bestätiget. Man kann sich die Torricellische Röhre als einen Schenkel eines Communicationsgefäßes vorstellen, dessen anderer Schenkel mit atm. Luft gefüllt ist, und das Gleichgewicht beider Flüssigkeiten nach 189 beurtheilen. Die atm. Luft ist bei 0° C. und 760 M. M. Barometerstand nach Biot und Arago's sehr genauen Versuchen 10467 dünner als das Quecksilber. Damit also unter diesen Umständen der Barometerstand sich um 1 Linie niedriger zeige, muß man das Instrument um 10467 Linien oder um 72,7 Fuß höher bringen, in so fern es nämlich erlaubt ist, hier von der Aenderung der Dichte der Luft innerhalb dieser Höhe zu abstrahiren. Auf der Spitze des Montblanc sah Saussure einen Barometerstand von nur 16,108 P. Z.; am Ararat zeigte Parrot's Barometer 16,06 P. Z.

249. Die nach oben zu immer abnehmende Dichte der Luft verursacht, daß der Druck einer Luftsäule nicht, wie bei tropfbaren Körpern, im einfachen verkehrten Verhältnisse mit der Entfernung von einer bestimmten Horizontalebene abnimmt, sondern daß diese Abnahme in einer geometrischen Progression geschieht, während die Entfernungen von dieser Ebene eine arithmetische Reihe bilden. Es sey eine zwischen den verticalen Ax und By (Fig. 86) befindliche Luftsäule durch die Horizontalebenen AB, CD, EF, GH, IK ꝛc. in gleiche Schichten getheilt, die eine so geringe Höhe haben, daß man die Dichte in jeder einzelnen Schichte für gleichförmig halten kann. Es habe diese Luft in irgend einer Schichte die Dichte d_n, das Gewicht p_n, und erleide von der darüber befindlichen Luftsäule den Druck P_n, wo n eine Zahl ist, welche die Schichte angibt, für welche diese Größen gelten, so daß d_1, d_2 ... p_1, p_2 ... P_1, P_2 ... sich auf die erste, zweite ꝛc. Schichte beziehen. Der Druck auf die Basis AB wird demnach durch P_0 ausgedrückt. Da ist nun, in so fern man die Intensität der Schwere als unverändert annehmen, also die Gewichte der Massen proportional setzen darf, $d_1 : d_n = p_1 : p_n$, und in so ferne das Mariotte'sche Gesetz zulässig erscheint, $d_1 : d_n = P_1 : P_n$, mithin auch $p_1 : p_n = P_1 : P_n$, woraus man erhält

$$P_1 + p_1 : P_1 = P_n + p_n : P_n.$$ Es ist aber

$$P_1 + p_1 = P_0,\quad P_n + p_n = P_{n-1},$$ mithin auch

$$P_0 : P_1 = P_{n-1} : P_n,$$ und daher $$P_n = \frac{P_1}{P_0} \cdot P_{n-1}.$$

Setzt man für n successive 1, 2, 3 rc., und nennt der Kürze halber $\frac{P_1}{P_0} = Q$, so erhält man die Werthe $P_1 = Q \cdot P_0$, $P_2 = Q \cdot P_1 = Q^2 \cdot P_0$, $P_3 = Q \cdot P_2 = Q^3 \cdot P_0$ u. s. f. Es sind also P_0, P_1, P_2, P_3 rc. Glieder einer geometrischen Reihe, während die Höhen o, AC, AE, AG rc. zu einer arithmetischen gehören. Dieses Gesetz wird demnach in der Wirklichkeit nur dann Statt haben, wenn die Wärme aller Luftschichten dieselbe ist, die Variation der Schwere vernachläßiget werden darf, und das Mariotte'sche Gesetz für jeden hier vorkommenden Grad der Luftdichte giltig ist. So wie es sich mit einem dieser Puncte anders verhält, muß auch das genannte Gesetz anders ausfallen.

Da hier, wenn m, n die Stellenzeiger zweier verschiedenen Luftschichten sind, $P_m = Q^m P_0$ und $P_n = Q^n P_0$ ist, so hat man $\frac{P_n}{P_m} = Q^{n-m}$ und wenn man beiderseits die Logarithmen nimmt,

$$\log. P_n - \log. P_m = (n-m) \log. Q \text{ folglich}$$

$n - m = \frac{1}{\log. Q} (\log. P_n - \log. P_m)$. Bezeichnen wir die Höhe einer einzelnen Schichte durch h, so ist $nh - mh$ der Höhenunterschied beider hier betrachteten Schichten; nennen wir diesen H, so haben wir, wenn wir die so eben erhaltene Gleichung mit h multipliciren

$$H = \frac{h}{\log. Q} (\log. P_n - \log. P_m).$$

Statt P_m und P_n kann man hier die an den entsprechenden Orten obwaltenden Barometerstände setzen, welche durch B und b angedeutet werden mögen, und da Q ein ächter Bruch, mithin log. Q negativ ist, so sey $-\frac{h}{\log. Q} = C$. Hierdurch erhält man die Formel

$$H = C (\log B - \log. b).$$

Da das Quecksilber bei 0° C und 760 M. M. oder 336,9 Par. Lin. Barometerstand 10467mal dichter ist als die atm. Luft, so wird, wenn man das Barometer um 0,10467 Fuß höher stellt, der Quecksilberstand um 0,00001 Fuß oder 0,00144 Lin. abnehmen. Setzt man daher $P_0 = 336{,}9$ Par. Lin. und $h = 0{,}10467$ Fuß,

so wird $P_1 = 336{,}9 - 0{,}00144$ Lin. $= 336{,}89856$ Lin.

$$\text{mithin } C = \frac{0{,}10467}{\log. 336{,}9 - \log. 336{,}89856.}$$

Es ist aber log. 336,9 = 2,5275010110
und log. 336,89856 = 2,5274991547
Differenz = 0,0000018563

folglich C = 56386.

Die für H erhaltene Formel wird dem Höhenmessen mit dem Barometer zum Grunde gelegt. Bei dem hier gefundenen Werthe von C gibt sie die Höhe in Pariser Fußen, wenn die Barometerbeobachtungen an den äußersten Puncten in beliebigem Maße ausgedrückt worden sind. Will man die Höhenangabe in Wiener Fußen, so ist C = 57945 zu setzen. Doch setzt diese Formel voraus, daß die ganze Luftsäule die Temperatur 0° C. habe. Legt man der Luftsäule eine andere Temperatur τ bei, so muß man die Größe C mit $1 + \alpha\tau$ multipliciren, wobei α der Ausdehnungscoefficient der Luft für die Temperaturänderung 1° C. ist. Denn durch Erwärmung wächst die Spannkraft der Luft,

sie wird daher, um sich mit der Umgebung wieder ins Gleichgewicht zu setzen, in demselben Verhältnisse dünner, mithin die Luftsäule, die man, um denselben Unterschied der Barometerstände zu erhalten, durchwandern muß, in gleichem Verhältnisse höher. In der Erfahrung findet zwar keine gleichförmige Erwärmung der Luft in verticaler Richtung Statt, doch kann man die Sache betrachten, als ob die Temperatur nach oben hin in einer arithmetischen Reihe abnähme, wenn die Höhen in einer solchen wachsen, mithin für τ das arithmetische Mittel zwischen den Temperaturen an der untern und obern Beobachtungsstation setzen. Man erhält auf diese Weise befriedigende Resultate, welche noch verbessert werden, wenn man auch noch auf den Feuchtigkeitszustand der Luft, auf die Abnahme der Schwere in verticaler Richtung und auf deren Aenderung wegen der geographischen Breite des Beobachtungsortes Rücksicht nimmt. Im Folgenden vorzutragende Lehren bieten hiezu die Hilfsmittel dar.

250. Die Gesetze des Gleichgewichtes ausdehnsamer und in dieselben getauchter, fester oder tropfbarer Körper stimmen mit jenen genau überein, welche zwischen tropfbaren und darin befindlichen festen Massen aufgestellt worden sind. Es verliert ein Körper in einem Gase so viel von seinem Gewichte, als die verdrängte Gasmasse wiegt. Dieses hat auf die Gewichtsbestimmung der Körper Einfluß. Man findet nämlich beim Abwägen eines Körpers in der Luft nur dann sein absolutes Gewicht richtig, wenn er mit dem Gegengewichte von gleicher Dichte ist. Hat er eine größere oder kleinere Dichte, so findet man jenes Gewicht um so viel zu groß oder zu klein, als das Gewicht der Luft unter einem Volum beträgt, welches dem Unterschiede der Rauminhalte des abzuwägenden Körpers und des angewendeten Gewichtes gleich ist. In den meisten Fällen braucht man deßwegen keine Correction anzubringen; findet man sie nöthig, so ist aus dem Vorhergehenden leicht ersichtlich, auf welche Weise sie zu machen sey. — Auf demselben Gesetze beruht auch das Wagemanometer, ein Instrument, welches die Zu- und Abnahme der Dichte der Luft anzeigt, und eigentlich aus einer Wage besteht, an der ein Gewicht von sehr dichtem Materiale mit einer hohlen, luftleeren Kugel bei der mittleren Dichte der Luft im Gleichgewichte steht. Sobald die Luft dünner wird, muß die Kugel sinken, weil ihr Gewichtsverlust minder bedeutend wird, als der ihres Gegengewichtes; sobald die Luft dichter wird, muß die Kugel steigen. Es ist leicht eine Einrichtung denkbar, wodurch man in den Stand gesetzt wird, aus dem Stande des Manometers auf das specifische Gewicht der Luft schließen zu können. Otto Guerike hat dieses Instrument erfunden, Fouchy und Gerstner haben es bedeutend verbessert. (Gerstner's Luftwage in den Beobachtungen auf Reisen nach dem Riesengebirge. Dresden 1791. Gerstner's Mechanik. Bd. 3.) Eine nothwendige Folge desselben Gesetzes ist auch, daß jeder Körper, der weniger wiegt, als ein gleiches Volum Luft, in dieser aufsteigen muß. Hierauf gründet sich das Steigen der Luftballone, die mit erwärmter atm. Luft gefüllt sind, oder mit Wasserstoffgas, kurz mit einer Gasart, welche bei einer geringeren Dichte, als jene der atmosphärischen Luft ist, der Spannkraft dersel-

ben das Gleichgewicht zu halten vermag, vorausgesetzt daß selbst mit der Belastung der Ballon weniger Gewicht hat, als die von diesem verdrängte Luft. Solche Ballone verhalten sich gegen die Luft, wie z. B. Korkholz gegen Wasser, nur mit dem Unterschiede, daß sie nicht bis zum Ende der Atmosphäre steigen können, weil sie in immer dünnere Luftschichten kommen, so daß sie nothwendig einmal eine erreichen, deren specifisches Gewicht dem des Ballons gleich kommt.

Der Luftballon wurde im Jahre 1783 zu Annonay von den Brüdern Mongolfier erfunden. Sie ließen am 5. Juli desselben Jahres einen Ballon von Leinwand und Papier, der 110 Fuß im Umfange hatte, steigen, indem sie ihn durch erwärmte Luft auftrieben. Er stieg auf eine Höhe von 6000 Fuß. Bald darauf sendeten die Herren Robert und Charles zu Paris eine ähnliche, mit Wasserstoffgas gefüllte, taffetene Kugel gegen Himmel. Pilatre de Rozier und Marquis d'Arlande haben sich zuerst diesem gefährlichen Fahrzeuge anvertraut, unter einem solchen Enthusiasmus der Pariser, daß es kaum begreiflich wird, wie noch eine Zeit kommen konnte, wo das Steigen eines Luftballons fast nicht mehr Aufsehen macht, als das Fallen einer Sternschnuppe. — Heut zu Tage verfertiget man die Luftballone aus Taffet, der zuerst gehörig zugeschnitten, dann mit einem Firniß aus Leinöhl, Vogelleim und Terpentinöhl überstrichen wird. Die Stücke werden zusammengenäht, und die Nähte mit demselben Firniß überzogen. Der kleinste kugelförmige Taffetballon muß 3 Fuß 4 Linien im Durchmesser haben, einer aus Goldschlägerhäutchen steigt schon, wenn er sechs Zoll im Durchmesser hat. Garnerin's Luftballon hatte 80 Fuß im größten, 25 F. im kleinsten Durchmesser, und faßte daher 10,400 K. F., trieb mithin unten 950 Pfund Luft aus ihrer Stelle. Er faßte aber etwa 160 Pfund Hydrogengas und mochte an Zeug 270 Pfund wiegen; es blieb ihm also eine Steigkraft von 520 Pfund. Neuerlich hat der durch seine zahlreichen und kühnen Fahrten ausgezeichnete englische Luftschiffer Green mit bedeutendem Vortheile das bei der Destillation der Steinkohle sich entwickelnde (auch als Beleuchtungsmaterial dienende) Gas statt des Wasserstoffgases zur Füllung der Luftballone angewendet. Die ungeheuren Gasvorräthe der Beleuchtungsanstalten Londons gestatten eine sehr rasche Füllung seines Riesenballons.

Siehe hierüber: Geschichte der Aërostatik. Straßburg 1784. Anhang zur Geschichte der Aërostatik. Straßburg 1786. Zachariä, Elemente der Luftschwimmkunst. Wittenberg 1807. Theorie der Aëronautik von C. Laczynsky. Mohrungen 1833.

251. Zwei Gase, welche durch eine bewegliche aber undurchdringliche Scheidewand, z. B. durch eine Wasser-, Oehl- oder Quecksilbersäule getrennt sind, stehen im Gleichgewichte, wenn sie mit gleichen und entgegengesetzten Kräften unmittelbar auf die Scheidewand, und daher mittelbar auf einander selbst wirken. Es muß demnach jede Veränderung in der Ausdehnsamkeit des einen Gases eine ähnliche im anderen hervorbringen. Aus dem hier erwähnten Gesetze erklären sich: Die Wirkung der Taucherglocke, des Stechhebers, des gekrümmten Hebers, der Mariotte'schen Flasche, der Sicherheitsröhren, Gasometer, Blasbälge, des Heronsballes, des Heronsbrunnens, des Lichterbrunnens, der Saug- und Druckpumpen, der Feuerspritzen, der Windbüchse; das Saugen, Trinken, Tabakrauchen,

und eine ungemeine Menge physikalischer Spielwerkzeuge, z. B. das magische Tintenfaß, der magische Trichter, der Oehlkrug der Witwe, das Sieb der Vestalin, der Zauberbrunnen, der Vexierbecher (Diabetes der Alten), die schwimmende Fontaine, der Storch und die Schlange u. dgl. m.

Die Taucherglocke besteht aus einem großen luftdichten, auf einer Seite offenen, einer umgestürzten Tonne ähnlichen Gefäße, welches mit der Oeffnung auf das Wasser gesetzt und so versenkt wird. Die darin befindliche Luft hält durch ihre Expansivkraft dem äußeren Luftdrucke und der über der Glocke stehenden Wassersäule das Gleichgewicht, hindert also das Eindringen des Wassers bis zur völligen Ausfüllung der Glocke und sichert so das Athemholen der darin befindlichen Menschen. Die Erfindung der Taucherglocke scheint sehr alt zu seyn, schon im Anfange des 16. Jahrhunderts wurde sie in Europa gebraucht, und ist seitdem vielfach in Anwendung gekommen. Doch ist dabei der Umstand sehr lästig, daß die Luft in der Glocke bald durch das Athmen verdorben wird, also bei längerem Aufenthalt unter Wasser fortwährend erneuert werden muß, und daß man sich wegen der zu starken Verdichtung der Luft und des daraus entstehenden Druckes auf den menschlichen Körper (er beträgt für jede 32 Fuß Tiefe um eine Atmosphäre mehr), nicht in bedeutende Tiefen wagen darf. Wie weit das Wasser dabei in die Glocke dringt, wenn nicht von oben Luft nachgeschafft wird, läßt sich nach dem Mariotte'schen Gesetze leicht beurtheilen.

Der Stechheber ist eine wenige Fuß lange, beiderseits offene, oben bedeutend erweiterte und in eine enge Mündung sich endigende Röhre, Fig. 87, mittelst der man Flüssigkeiten aus Fässern heraushebt. Man taucht die Röhre in die Flüssigkeit, und saugt am äußeren Ende, schließt dann das letztere, und zieht die Röhre sammt Inhalt aus der Flüssigkeit.

Der gekrümmte Heber ist eine gewöhnlich etwa 2 Fuß lange, gebogene Röhre, wovon meistens ein Schenkel länger ist als der andere (Fig. 88 und 89). Gibt man dem Heber gleich lange Schenkel, so pflegt man selbe an den Enden etwas aufwärts zu biegen (Fig. 90). Man nennt ihn würtembergischen Heber. Füllt man eine solche Röhre durch Saugen oder auf eine andere Weise mit einer Flüssigkeit, z. B. Wasser, und läßt beide Schenkel abwärts gehen, so bleibt dieses, wenn die Mündungen beider Schenkel in dieselbe Horizontalebene fallen, zumal wenn selbe aufwärts gebogen sind, wodurch dem Aufsteigen der äußeren Luft in die Schenkel vorgebeugt wird, im Gleichgewichte; steht aber die Mündung eines Schenkels tiefer als die andere, so fließt das Wasser durch die tiefere Mündung ab. Dieses Phänomen beruht auf dem Drucke des Wassers und der Luft. Stehen beide Mündungen gleich tief, so sind die gleichnamigen Kräfte beiderseits gleich, und heben sich daher auf. Haben aber beide Mündungen nicht gleich tiefen Stand, so sey P der abwärts gerichtete Wasserdruck, ferner Q der aufwärts gerichtete Luftdruck an der tieferen Mündung, und p, q die gleichnamigen Kräfte an der höher stehenden. Offenbar ist $Q > P$, $q > p$; man hat daher als Resultirende dieser Kräfte an der tieferen Mündung den Druck $Q - P$ und an der anderen den Druck $q - p$, beide aufwärts wirkend. Aber die Differenz beider ist $Q - P - (q - p)$, welchen Ausdruck man auch so schreiben kann: $Q - q - (P - p)$; da nun $Q - q$ den Druck einer Luftsäule anzeigt, deren Höhe dem Höhenunterschiede der beiden Mündungen gleich ist, und $P - p$ den Druck einer gleich hohen Wassersäule, so ist offenbar $Q - q < P - p$ mithin

obige Differenz negativ, also auch $Q - P < q - p$. Die aufwärts wirkende Resultirende an der tiefern Mündung ist demnach die schwächere, und folglich fließt das Wasser da heraus Tauchen die Schenkel des Hebers in Wasser, so ist der Stand der Wasserfläche als jener der correspondirenden Hebermündung anzusehen. Man sieht leicht ein, warum, wenn die eine Mündung in Wasser taucht, der Ausfluß des Wassers aus der anderen so lange währt, als jener Wasserspiegel über der Ausflußöffnung steht, denn die Ungleichheit oben genannter Kräfte dauert fort. Allein es ist klar, daß die verticale Höhe der Heberkrümmung über der höher liegenden Mündung nicht mehr betragen darf, als die Höhe der Flüssigkeitssäule, die dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält, denn sonst sinkt die Flüssigkeit wie in einem Doppelbarometer zu beiden Seiten herab. Man kann daher den Heber nicht wie einst Porta (am Anfange des 17. Jahrhunderts vor Torricelli's Entdeckung) meinte, gebrauchen, um Wasser über Anhöhen zu leiten, denn diese dürften die geringe Höhe von 32 Fuß nicht erreichen. Unter dem Recipienten der Luftpumpe hört, wenn die Luft gehörig verdünnt worden ist, das Ausfließen des Wassers aus dem Heber auf. Die Form des Hebers (Fig. 89) dient zum Ansaugen von Flüssigkeiten, die man nicht in den Mund bringen darf, und heißt Giftheber. Der würtembergische Heber kann aus der Flüssigkeit, die durch ihn abfließt, gehoben werden, und bleibt, wenn man sich hüthet ihn stark zu neigen, gefüllt; taucht man ihn ein, so beginnt der Abfluß von Neuem.

Die Mariotte'sche Flasche, Fig. 91, hat die Gestalt einer gewöhnlichen Flasche, nur ist sie seitwärts in einiger Entfernung vom Boden mit einer kleinen Oeffnung A versehen, und es geht durch den gut schließenden Stöpsel am Halse ein oben und unten offenes Rohr b c luftdicht hindurch. Ist die Flasche mit Wasser gefüllt, und das Rohr so weit hinabgeschoben, daß das Ende c tiefer steht, als die Oeffnung A (Fig. 91, a), so stellt sich das Wasser im Rohre dergestalt, daß dessen Oberfläche sich mit A in derselben Horizontalebene befindet. Auf diese Weise halten nämlich die aus dem Luft- und Wasserdrucke im Rohre und an der Seitenöffnung hervorgehenden Kräfte einander das Gleichgewicht. Steht aber das Ende c des Rohres höher als die Oeffnung A (Fig. 91, b), so fließt aus letzterer, während durch das Rohr Luft in die Flasche dringt, fortwährend Wasser ab, bis endlich der Flüssigkeitsspiegel in der Flasche nur bis A reicht. Beachtenswerth hierbei aber ist, daß das Wasser aus der Oeffnung A durch den zum Gleichgewichte fehlenden Druck einer Wassersäule von der Höhe, in der das Ende c des Rohres über A steht, mithin durch eine von der Stellung des Wasserspiegels in der Flasche unabhängige Kraft herausgetrieben wird, also fortwährend mit einerlei Geschwindigkeit ausfließt, ein Umstand, der nützliche Anwendungen gestattet. Man kann statt der Seitenöffnung A an der Flasche einen Heber D A (Fig. 92) anbringen, und die Röhre B C oben seitwärts krümmen, nur müssen die Röhren durch den an den Flaschenhals gut passenden Stöpsel luftdicht gehen. Bläst man bei B Luft ein, so beginnt das Ausfließen der in der Flasche befindlichen Flüssigkeit, mit einer constanten Geschwindigkeit, die man durch die Höhe, in welche man das Ende C des Luftrohres über die Hebermündung A setzt, reguliren kann. Saugt man bei B Luft heraus, so wird das Ausfließen unterbrochen. Während des Ausfließens ist die Luft ober der Flüssigkeitsfläche in der Flasche verdünnt, und ihr Druck gibt mit dem Drucke der Flüssigkeit auf C zusammen genommen, eine dem äußeren atmosphärischen Drucke gleiche Summe. Man ersieht hieraus die Nothwendigkeit des luftdichten Ver-

schlusses am Halse der Flasche zur Erzielung einer constanten Ausflußgeschwindigkeit.

Eine Sicherheitsröhre nennt man eine beiderseits offene, gerade, oder besser gebogene Röhre, die man an einem Gasrecipienten oder an einer Gasentwicklungsflasche anbringt, um nebst dem Verschlusse derselben, noch gewisse andere, den Gang einer chemischen Operation sichernde Zwecke zu erreichen, z. B. um den Grad der Ausdehnsamkeit des darin befindlichen Gases zu erkennen; dem Gase bei zu großer Anhäufung einen Ausweg, oder bei plötzlicher Verminderung der inneren Spannkraft der atm. Luft den Eintritt zu gestatten, und in dem einen wie auch in dem andern Falle dem Zerspringen des Gefäßes vorzubeugen; um Flüssigkeiten zum Behufe der Fortsetzung der Gasentwicklung in das Gefäß gießen zu können, ohne es zu öffnen, und dadurch zu verhüthen, daß das Gas entweiche oder mit atm. Luft verunreiniget werde etc. Es sey A (Fig. 93) eine Flasche, die zum Theil mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit, zum Theil mit Gas gefüllt ist, und a die Sicherheitsröhre, welche, wenn sie gerade ist, bis nahe an den Boden der Flasche reicht, was jedoch nicht nöthig ist, wenn man der Röhre zweckmäßige Biegungen gibt. Hat das Gas eine mit der äußeren Luft gleiche Expansivkraft, so wird auch die Flüssigkeit in der Flasche und in der geraden Röhre, oder in den Schenkeln der gebogenen, gleich hoch stehen; so wie aber der Gasdruck zunimmt, steigt die Flüssigkeit in der Röhre, bis der Druck der flüssigen Säule, verstärkt durch den äußeren Luftdruck, das Gleichgewicht herstellt. Man wird daher aus den Veränderungen des Standes der Flüssigkeit in der Röhre wahrnehmen können, ob Gas absorbirt wird, oder ob neues hinzukommt, vorausgesetzt, daß Temperatur und Luftdruck beständig bleiben. Vermehrt sich die Gasmasse über Gebühr, so kann ein Theil derselben, indem er die Flüssigkeit in den andern Schenkel drängt, austreten. Auf demselben Wege kann man auch Flüssigkeit nachfüllen. Damit eine solche Röhre bei einer mäßigen Länge doch viel Flüssigkeit fasse, diese daher nicht überlaufe, so bringt man an gewissen Stellen kugelförmige Erweiterungen an. Eine solche Röhre heißt eine Welter'sche Sicherheitsröhre.

Gasometer nennt man im Allgemeinen jedes zur Aufbewahrung eines Gases dienende Gefäß, aus welchem das Gas durch Röhren mittelst Wasser oder Quecksilberdruckes herausgelassen werden kann, wobei man noch in vielen Fällen die Forderung macht, daß dieses in einem regelmäßigen Strome geschehe. Soll der Apparat seiner Benennung vollkommen entsprechen, so muß er auch Mittel darbieten, sowohl die Quantität des in demselben noch vorhandenen Gases, wie auch dessen Spannung zu beurtheilen. Fig. 94 stellt einen Apparat dieser Art vor, wie man ihn im Großen in Gasbeleuchtungsanstalten verwendet. A ist ein oben offenes, Wasser enthaltenes Gefäß; in demselben bewegt sich ein zweites umgestürztes kleineres B auf und nieder; es dient zur Aufnahme des Gases, und drückt selbes durch sein Gewicht zusammen: dieser Druck wird nach Bedürfniß durch Gegengewichte C regulirt. Das Gas wird durch die eine der Röhren D eingefüllt, und tritt durch die andere aus. Fig. 95 stellt Pepys, zu physikalischen Versuchen äußerst bequemen Gasbehälter dar. Bei dem Gebrauche füllt man ihn zuerst mit Wasser. Man gießt selbes durch das obere Gefäß A ein, nachdem man die Oeffnung a und den Hahn b geschlossen, die Hähne c und d aber geöffnet hat. Die Luft entweicht durch d, während das Wasser durch die bis an den Boden des unteren Gefäßes B gehende Röhre fg eindringt. Ist nun ein Gas zu entwickeln, so schließt man die Hähne bcd, und öffnet den Verschluß

bei a. Da das kurze Rohr daselbst eine aufwärts gekehrte Mündung hat, so kann die atm. Luft nicht eindringen, und das Wasser wird durch ihren Druck in B zurückgehalten. Das Entbindungsrohr wird sodann in a eingeführt und das Wasser läuft, so wie Gas in B eintritt, durch a neben dem Rohre ab. Schließt man a und öffnet man c, so kann man das Gas entweder durch b austreten lassen, oder, wenn eine Flasche oder Glocke damit zu füllen ist, diese mit Wasser gefüllt über die Mündung c in A setzen. Den jedesmaligen Stand des Gases in B erkennt man, wenn dieses Gefäß nicht von Glas ist, mittelst des gläsernen Seitenrohres mn, welches mit B oben und unten in Communication steht. (Zenneck's Myzogasometer in Zeitschr. 11, 256.)

Ein Blasebalg ist ein luftdichter, lederner oder hölzerner Kasten, dessen innerer Raum sich vergrößern und verkleinern läßt, und beim Erweitern durch eine enge Oeffnung Luft schöpft, die er beim Verkleinern durch eine andere Oeffnung entweichen läßt. Um einen ununterbrochenen Luftstrom zu erhalten, wird die Luft zunächst in einen zweiten, auf ähnliche Weise construirten Behälter getrieben, der mit einem Gewichte beschwert ist (doppelter Blasebalg).

Der Heronsball nach Heron von Alexandrien, der um d. J. 600 n. Chr. lebte, so genannt (Fig 96), ist ein Gefäß, das mit einer engen, offenen, bis an den Boden reichenden Röhre versehen, übrigens aber luftdicht verschlossen ist. Füllt man es zum Theil mit Wasser, und verdichtet dann die innere Luft, so springt ersteres durch die Röhre heraus.

Der Heronsbrunnen (Fig. 97) ist ein Heronsball, der mit einem andern, luftdichten Gefäße mittelst zwei Röhren verbunden ist, wovon die eine am oberen Boden jedes Gefäßes sich endigt, während die andere durch den ganzen Heronsball geht, mit dem einen Ende bis an den unteren Boden des unteren Gefäßes reicht, und mit dem andern sich nach außen in einen über dem oberen Gefäße befindlichen tellerartigen Aufsatz öffnet. Enthält dieser Wasser, so fließt es durch die letztgenannte Röhre ins untere Gefäß, vertreibt daraus die Luft, die nun in den Heronsball kommt, und daselbst ein Hervorspringen des Wassers bewirkt, das sich in dem oberen Teller sammelt, und dann in das untere Gefäß abfließt. Dieß geht so lange fort, als noch im Heronsballe Wasser vorhanden ist. Wird das Ausflußrohr des Heronsballes nach oben verlängert, so steigt das Wasser darin so weit empor, daß die Höhe der gehobenen Säule jener der drückenden gleich kommt. Die zwischen beiden Wassersäulen enthaltene Luft dient dann bloß als Fortpflanzungsmittel des Druckes. Man kann dem Heronsbrunnen mit Hülfe des Princips der Mariotte'schen Flasche eine solche Einrichtung geben, daß die Kraft, mit welcher das Wasser herausgetrieben wird, nicht von dem Stande desselben im oberen und unteren Gefäße abhängt, sondern sich stets gleich bleibt. Man hat davon eine sinnreiche Anwendung auf Construction von Oehllampen gemacht, worin dem Dochte stets gleichmäßig Oehl zugeführt werden soll. Doch haben diese den Nachtheil, daß sich die Lichtstärke bei plötzlicher Temperaturänderung rasch ändert, weil hiedurch die Federkraft der Luft und somit der Oehlzufluß geändert wird. Die Einrichtung des Heronsbrunnens wurde auch zum Wasserheben benützt (Hell's Luftsäulenmaschine).

Der Lichterbrunnen ist ein Heronsball, der mit einem Luftbehälter in Verbindung steht. Wird die Luft in letzterem durch untergesetzte Lichtflammen erhitzt, so treibt sie das im Heronsballe vorhandene Wasser in Folge ihrer gesteigerten Expansivkraft heraus.

Eine Saugpumpe (Fig. 98.) besteht aus einer höchstens 28 Fuß

langen Röhre a (Saugröhre), deren unteres Ende in das zu hebende Wasser getaucht ist, während das obere b mit einem hohlen Cylinder (Stiefel) in Verbindung steht, in welchem ein Kolben luftdicht auf und ab bewegt werden kann. Wo die Saugröhre mit dem Stiefel verbunden ist, hat letzterer ein Ventil c, das sich von unten nach oben öffnet; ein ähnlich eingerichtetes hat auch der Kolben d. Durch das Aufziehen des Kolbens wird die Luft im Stiefel verdünnt; dieses macht, daß die Luft in der Saugröhre das Bodenventil hebt, und zum Theil in den Stiefel tritt; beim Hinabdrücken des Kolbens steigt sie über sein Ventil und kommt ins Freie. Mit dieser Luftverdünnung in der Saugröhre steht das Steigen des Wassers in Verbindung. Durch wiederholtes Kolbenspiel tritt es über das Bodenventil in den Stiefel und endlich gar über den Kolben bis zur Ausgußröhre e Die Saugpumpe wirkt also, so lange das Wasser nicht über das Kolbenventil gebracht worden ist, als Luftpumpe, wobei der Einfluß des schädlichen Raumes nicht außer Acht gelassen werden darf. Dieser Umstand beschränkt seinerseits die Länge des Saugrohres, die deßhalb noch bedeutend geringer seyn muß, als die Höhe der Wassersäule, welche die Luft zu tragen vermag.

Die Druckpumpe (Fig. 99) hat einen Stiefel mit einem Bodenventil a, das sich von unten nach oben öffnet, und einen luftdicht schließenden, beweglichen Kolben b. An der Seite des Stiefels befindet sich eine aufwärts gekrümmte Röhre c (Steigröhre) mit einem Ventile d, das sich von innen nach außen öffnet. Wenn beim Heben des Kolbens und der dadurch bewirkten Luftverdünnung das Wasser in den Stiefel gestiegen ist, so wird es beim Herabdrücken des Kolbens in die Steigröhre getrieben, und weil das Ventil es nicht mehr zurückläßt, selbst wenn der Kolben gehoben wird, so kommt es mit jedem Kolbenstoße höher zu stehen, und gelangt endlich gar zur Ausgußöffnung e.

Die Feuerspritze (Fig. 100) besteht gewöhnlich aus zwei Druckpumpen a, a, die das Wasser in einen Heronsball b pumpen, aus welchem es mittelst eines beweglichen Rohres oder eines Schlauches (Schlange) hervorspritzt.

Die Windbüchse (Fig. 101) besteht aus einem sehr starken metallenen Gefäße a (Flasche), in welchem die Luft stark (etwa 60mal) verdichtet worden ist, und das durch eine Klappe verschlossen wird, die sich von außen nach innen öffnet. An die Flasche ist das Rohr b angesetzt, aus welchem eine Kugel ausgeschossen werden kann, wenn durch einen Stoß die Klappe der Flasche geöffnet wird.

Mehrere der hier besprochenen Vorrichtungen waren bereits den Alten bekannt, z. B. die Heber, von denen schon Heron vielfältige Anwendungen gemacht hat, oder existiren schon viele Jahrhunderte wie die Pumpen, Feuerspritzen u. dgl. Die genaue Kenntniß der Eigenschaften der Luft verhalf zur Erklärung der älteren und zur Erfindung vieler neueren Geräthschaften dieser Art, worüber vornehmlich die neuere Ausgabe des Gehler'schen phys. Wörterbuches vielfache Belehrung bietet. S. die Artikel Heber, Pumpe, Springbrunnen u. dgl. Die oben zuletzt genannten Spielwerke findet man größtentheils in Wolfii Elementa Matheseos. Gen. 1746. Tom. 2. Oder in den Erinnerungen aus Lichtenberg's Vorlesungen von Gamauf. Wien. 2. Bd. S. 15—22.

252. Man denke sich in ein bestimmtes Volum V zwei verschiedene Gase gebracht, wovon das eine, wenn es bei der herrschenden Temperatur dieses Volum für sich allein erfüllte, die Spannkraft P

und eben so das andere für sich allein genommen die Spannkraft Q zeigen würde. Wenn diese Gase sich im Volum V mit einander vermengen, ohne jedoch auf einander chemisch einzuwirken, so wird aus ihrem Zusammenseyn eine gewisse Spannung hervorgehen, die wir gegenwärtig untersuchen wollen. Man nehme vor der Hand an, die Gase seyen im Raume V durch eine bewegliche Scheidewand getrennt, so wird zum Gleichgewichte erfordert, daß diese von beiden Seiten einerlei Druck erleide. Heißt die diesem Drucke entsprechende Spannkraft S, welche zugleich die in der Gesammtmasse herrschende ist, und sind V', V'' die Volume, welche die Gase hiebei einnehmen, so hat man nach dem Mariotte'schen Gesetze:

$P : S = V' : V$ und eben so $Q : S = V'' : V$, mithin
$P : Q = V' : V''$, folglich auch $P : P + Q = V' : V' + V''$.

Aber es ist $V' + V'' = V$, daher auch, wie die Vergleichung der letzten Proportion mit der ersten lehrt, $S + P = Q$. In diesem Falle kommt also die Spannkraft, mit welcher beide Gase das gegebene Volum einnehmen, der Summe der Spannkräfte gleich, mit welchen sie, einzeln betrachtet, dieses Volum ausfüllen würden. Offenbar ist diese Betrachtung auf den Fall nicht anwendbar, wenn sich beide Gase mit einander gleichförmig mengen; allein die Erfahrung lehrt, daß auch die Spannkraft eines Gasgemenges der Summe der auf denselben Raum sich beziehenden Spannkräfte der Gemengtheile gleich ist. Man ersieht hieraus, daß in einem Gemenge zweier einander nicht chemisch afficirenden Gase jedes den Raum, wie mit derselben Dichte, eben so auch mit derselben Spannkraft behauptet, welche es zeigen würde, wenn das andere Gas nicht vorhanden wäre oder sich lediglich wie eine höchst poröse, nach allen Richtungen gleich durchdringliche Scheidewand verhielte, die dem Volum des ersteren, weil sie die Theilchen desselben nicht zwingt, einander näher zu treten, gar keinen Eintrag thut. Da nun dem zu Folge die Spannkraft eines Gasgemenges nur durch die Abstoßung bestimmt wird, welche die Molekel jedes Gemengtheiles auf einander selbst ausüben, also jeder Gemengtheil für sich im Gleichgewichte steht; so muß man wohl den von Dalton zuerst ausgesprochenen Satz gelten lassen, daß zwei Gase, die auf einander keine chemische Einwirkung äußern, wenn sie in Contact gerathen, sich völlig passiv zu einander verhalten, nämlich die Molekel des einen gegen die Molekel des andern keine Kraft ins Spiel setzen. Die Richtigkeit dieses Satzes wird noch durch die Erfahrung auf das Augenscheinlichste bestätigt, daß zwei heterogene Gase, z. B. Kohlensäure und Wasserstoffgas, die sich nicht chemisch mit einander verbinden, und bei gleichen Spannkräften in zwei über einander stehenden, bloß durch eine Oeffnung mit einander in Communication gesetzten Gefäßen enthalten sind, so zwar, daß das specifisch schwerere (das Kohlensäuregas) den unteren, das leichtere (das Wasserstoffgas) den oberen Raum einnimmt, nicht im Gleichgewichte bleiben, sondern von jedem so viel in den Raum des andern eindringt, als nöthig ist, um eine völlig gleichförmige Mengung darzustellen. Nur erfolgt der Uebertritt jedes Gases in den be-

nachbarten Raum langsamer, als wenn dieser ursprünglich völlig leer gewesen wäre, so nämlich, daß jedes Gas für das andere als mechanisches Hinderniß anzusehen ist, welches die Zugänge verengert. Befindet sich demnach in einem Raume V ein Quantum Q und in einem zweiten Raume V', der mit ersterem in Communication steht, ein Quantum Q eines und desselben Gases, so verhalten sich die Kräfte, womit die homogenen Gastheile bei gleicher Temperatur an der Verbindungsstelle auf einander einwirken, nach dem Mariotte'schen Gesetze wie $\frac{Q}{V} : \frac{Q'}{V'}$, d. h. wie die denselben zugehörenden Dichten, es mögen nun in diesen Räumen noch andere Gase vorhanden seyn oder nicht.

Von diesem Gesetze läßt sich eine wichtige Anwendung auf die atmosphärische Luft machen, die ein Gemenge von Sauerstoffgas und Stickgas ist. Wird in einem mit der äußeren Luft in Verbindung stehenden Raume durch Athmen oder Verbrennen Sauerstoff verzehrt, so wird in so fern nur das Gleichgewicht des Sauerstoffes in genanntem Raume mit dem Sauerstoffe in der Atmosphäre gestört, und es dringt aus letzterer, um den Verlust zu ersetzen, Sauerstoff in ersteren ein.

253. Bei zwei heterogenen, mit einander durch sehr enge Oeffnungen in Berührung befindlichen Gasen erscheint jedoch das Bestreben, jedes derselben in den Raum des andern einzudringen, d. i. sich zu diffundiren, nicht gleich. Ist nämlich die Scheidewand, welche zwei Gase von einander trennt, für dieselben durchdringlich, wie z. B. thierische Blasen, Holz, gebrannter, aber nicht glasirter Thon, gebrannter, in Wasser abgerührter und hierauf getrockneter Gips 2c.; so dringen von jedem Gase Volume durch die Wand, welche sich (nach Graham) umgekehrt wie die Qudratwurzeln der Dichte der Gase verhalten, vorausgesetzt, daß die Gase nicht chemisch auf einander wirken und ihr Druck zu beiden Seiten der Scheidewand während des ganzen Verlaufes gleich groß erhalten wird. Wenn von jedem der zwei Gase ein diesem Gesetze entsprechender Theil durch die Scheidewand gegangen ist, herrscht Gleichgewicht. Dieses tritt aber schon früher ein, und die Strömung der Gase durch die Scheidewand hört auf, wenn der Druck auf letztere nicht von beiden Seiten gleich erhalten wird.

Versuche über diesen Gegenstand stellt man am leichtesten an, indem man ein beiderseits offenes Glasrohr mit einer Blase verbindet, oder noch besser es mit einem Stöpsel von gebranntem, mit Wasser angemachten und dann in der Luft gut getrockneten Gips versieht, ein Gas einfüllt, es durch Quecksilber oder, jedoch mit der Vorsicht, den Stöpsel nicht zu benetzen, durch Wasser sperrt, und das Ganze sammt der Sperrflüssigkeit in ein Gefäß bringt, welches das zweite Gas enthält, so daß beide Gase durch die Sperrflüssigkeit und durch die poröse Scheidewand von einander getrennt sind. Bei Versuchen mit irgend einem Gase und atm. Luft kann der zweite Recipient wegbleiben. Während des Versuches muß die Sperrflüssigkeit sorgfältig regulirt werden, damit sie immer in beiden Gefäßen gleich hoch stehe. Ist das in der Röhre befindliche Gasvolum stationär geworden, so theilt man den Rauminhalt des entwichenen Gases durch jenen des dafür eingetrete-

nen, und erhält so den Diffusionsquotienten; Graham fand denselben für Hydrogengas und atm. Luft im Durchschnitte aus fünf Versuchen = 3,848. Wird die Dichte des Hydrogengases 0,0688 gesetzt, so erhält man, obigem Gesetze gemäß, für diesen Quotienten 3,8125. (Pogg. Ann. 17. 341; 28. 331; Schweigg. J. 67. 215 Zeitschr. 8. 9; Graham's Lehrbuch der Chemie. 1. S. 83.)

Mit der hier betrachteten Diffusion ist die Durchführung gewisser Gase, die vom Wasser begierig aufgenommen werden, durch feuchte Membranen nicht zu verwechseln. Gibt man z. B. eine nasse, mit atm. Luft zum Theil gefüllte und zugebundene Blase in eine Kohlensäure-Atmosphäre, so schwillt sie in Folge des Ueberganges von Kohlensäure in selbe binnen 12—24 Stunden bis zum Bersten auf, während nur sehr wenig atm. Luft aus der Blase entweicht. Hier wird das Gas vom Wasser verschluckt, geht mit diesem durch die Blase, und entweicht im Innern wieder nach Gesetzen, deren Erörterung wir sogleich vornehmen wollen.

254. Während gasförmige Körper verschiedener Art, abgesehen von chemischer Verbindung, keine Einwirkung auf einander erkennen lassen, zeigt sich, wenn feste oder tropfbare Körper mit Gasen in Berührung sind, eine namhafte Einwirkung ersterer auf letztere. Es wird nämlich eine mehr oder weniger beträchtliche Menge des Gases von dem festen oder flüssigen Körper eingesogen oder absorbirt, ohne daß eine chemische Verbindung des Gases mit dem genannten Körper vor sich geht, gerade so, als ob nur die abstoßende Kraft, welche zwischen den Theilchen des eingesogenen Gases herrscht, vermindert worden wäre. Dieß zugegeben, sieht man leicht, daß das absorbirte Gas dem außerhalb des absorbirenden Körpers befindlichen mit einer geringeren specifischen Spannkraft entgegen wirken werde, und in Folge dessen, um mit diesem wieder in das Gleichgewicht zu kommen, eine größere Dichte erlangen müsse. Die Menge des Gases, welche ein Körper absorbirt, richtet sich nach der materiellen Beschaffenheit, namentlich nach der Reinheit beider, und wird überdieß durch Druck und Temperatur bedingt. Sie ist, wie Henry zuerst gezeigt hat, bei gleicher Temperatur im Allgemeinen dem Drucke direct proportionirt, so daß das Volum des absorbirten Gases für jeden Druck dasselbe bleibt, und sich nur mit der Beschaffenheit des Gases und des absorbirenden Körpers ändert. Temperaturerhöhung wirkt der Absorption entgegen. Ein Körper, der mit einem Gase gesättigt ist, kann noch von einem andern etwas aufnehmen, ja in gewissen Fällen wird von einem Gasgemenge sogar mehr aufgenommen, als wenn man die Gemengtheile einzeln der Absorption preis gibt. Dichtere, aber doch poröse Körper, absorbiren bei sonst gleicher materieller Beschaffenheit mehr als minder dichte, wenigstens bis zu einer gewissen Grenze; durch Pulverform jedoch wird das Absorptionsvermögen im Allgemeinen geschwächt.

Unter den festen, Gase absorbirenden Körpern ist die Kohle am sorgfältigsten untersucht. Es bestätigen sich bei ihr die so eben ausgesprochenen Gesetze vollkommen. Trockene und luftleere Kohle absorbirt mehr als solche, die bereits Luft oder Wasser oder beides aufgenommen hat. Nach Th. v. Saussure absorbirt Korkkohle, deren Dichte 0,1 ist,

fast keine Luft, Tannenkohle von 0,4 Dichte 4,5 Volume, Buchsbaumkohle von 0,6 Dichte 7,5 Vol., Steinkohle von 1,326 Dichte 10,5 Vol., noch dichtere Kohle aber nichts. Bei einer Temperatur von 11—13° C. werden von Buchsbaumkohle aufgenommen Ammoniakgas 90 Vol., Kohlensäuregas 35 Vol., Sauerstoffgas 9,25 Vol., Stickgas 7,5 Vol., Wasserstoffgas 1,75 Vol. Sauerstoffgas wurde von nachstehenden Körpern in den folgenden Quantitäten absorbirt: Meerschaum 1,49 Vol., Gips 0,58, Haselholz 0,47, Tannenholz 0,5, Leinfäden 0,35, Wolle 0,43, Seide 0,44. Wasser absorbirt von öhlbildendem Gas 0,155 Vol., Stickoxydul 0,76, Kohlensaure 1,06; Olivenöhl von denselben Gasen nach der Ordnung 1,22, 1,50, 1,51 Vol. Das Verhältniß, in welchem Wasser aus der atm. Luft Sauerstoffgas und Stickgas aufnimmt, ist ein anderes als jenes, in welchem diese Stoffe sich in der Luft befinden, und zwar wird vom Sauerstoffgas vergleichungsweise eine größere Menge als vom Stickgas absorbirt. Das Absorptionsvermögen der Kohle wurde 1777 von Fontana und Scheele zugleich entdeckt. (S. den Artikel »Absorption« in Liebig und Poggendorff's Handwörterbuch der Chemie und in der neuen Ausgabe des Gehler'schen phys. Wörterbuches.)

255. Die von festen und tropfbaren Körpern absorbirten Gase stehen mit den freien nach denselben Gesetzen im Gleichgewichte, welche für solche Gase aufgestellt worden sind, die mittelst einer durchdringlichen Scheidewand mit einander communiciren, vorausgesetzt, daß man die durch die absorbirende Kraft veränderte Ausdehnsamkeit des absorbirten Gases berücksichtiget. Man denke sich z. B. Wasser mit Sauerstoffgas in Berührung, einen Theil desselben bereits absorbirt, und das freie Gas mit dem absorbirten im Gleichgewichte. Wird nun die Dichte des freien Gases vermehrt, so muß auch jene des absorbirten zunehmen, welches durch Absorption eines neuen Quantums geschieht, wenn das Gleichgewicht bei dieser Lage der Dinge fortdauern soll. Auf gleiche Weise muß ein Theil des absorbirten Gases frei werden, wenn die Dichte oder der Druck des äußeren vermindert wird. Aendert sich die Temperatur des Gases und der absorbirten Flüssigkeit, so nehmen zwar die Expansivkräfte des freien und des absorbirten Gases auf gleiche Weise ab oder zu, aber der Erfolg fällt verschieden aus, je nachdem das freie Gas entweichen kann oder nicht. Ist ersteres der Fall, so bleibt ungeachtet der Temperaturänderung der Druck des freien Gases auf die Flüssigkeit derselbe, während die Spannkraft des absorbirten sich ändert und beim Erwärmen wächst, beim Erkalten abnimmt. Es muß daher bei einer Statt habenden Erwärmung ein Theil des absorbirten Gases frei gelassen, bei einer Erkältung hingegen ein neues Quantum absorbirt werden, abgesehen von der etwa durch die Temperaturänderung hervorgebrachten Modification des Absorptionsvermögens der Flüssigkeit. Ist die freie Luft so eingeschlossen, daß sie nicht entweichen kann, so bringt eine Temperaturänderung im freien und im absorbirten Gase dieselbe Aenderung der Expansivkraft hervor, und es wird das absorbirte Gas weder vermehrt, noch vermindert. Dieses ist das von Dalton auf empirischem Wege gefundene Gesetz, vermög welchem das Verhältniß zwischen dem absorbirten und dem freien Gase bei jedem Temperaturwechsel unverändert bleibt, wenn nur die tropf-

bare Flüssigkeit nicht zum Frieren oder zum Sieden gebracht wird. Bringt man über eine Flüssigkeit, die schon Gas absorbirt hat, eine andere Luftart, so wird zur Herstellung eines stabilen Gleichgewichtes ein Theil des absorbirten Gases frei, ein Theil des freien absorbirt, und es tritt sowohl im absorbirten als im freien Gase eine gleichförmige Mengung beider ein.

Diese Gesetze des Gleichgewichtes absorbirter Gase mit freien sind nicht bloß in theoretischer Hinsicht wichtig, sondern gestatten vielfache practische Anwendungen. Sie lehren z. B., daß es nothwendig sey, ein Barometer von Zeit zu Zeit von Neuem auszukochen, weil vom Quecksilber beständig Luft eingesaugt wird; daß man auf die Reinheit eines Gases, das längere Zeit durch Wasser oder Quecksilber gesperrt in einem Gefäße aufbewahrt wurde, nicht viel vertrauen darf. Faraday fand reines Wasserstoffgas, das er in einer, mit einem Glaspfropfe versehenen, umgekehrten Flasche, deren Hals in Quecksilber gesenkt war, aufbewahrte, nach 15 Monaten völlig durch atm. Luft ersetzt; zwei andere, eben so vorgerichtete Flaschen enthielten nach derselben Zeit ein Gemenge von Wasserstoffgas und atm. Luft. (Pogg. Ann. 8. 124.) Aus denselben Gesetzen ergeben sich auch die Mittel, eine Flüssigkeit mit einem Gase zu imprägniren, oder sie von einem absorbirten Gase zu befreien. Soll eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, viel von einem Gase, z. B. von Kohlensäuregas aufnehmen (welches besonders bei der Bereitung vieler künstlicher Mineralwässer der Fall ist); so muß man das freie Gas über der Flüssigkeit möglichst stark comprimiren, und die Arbeit bei einer den Eispunct nicht weit übersteigenden Temperatur vornehmen. Bouteillenbier, junge luftdicht verschlossene Weine kommen durch die fortdauernde Gährung ohne unser Zuthun mit stark verdichtetem Kohlensäuregas in Berührung, und nehmen daher sehr viel davon auf. Um eine Flüssigkeit von der eingesaugten Luft zu befreien, kann man mehrere Mittel anwenden: 1) Verdünnung der darüber befindlichen Luft. Setzt man den darauf lastenden Luftdruck auf 1/10, 1/100 ꝛc. herab, so wird auch nur 1/10, 1/100 ꝛc. des eingesaugten Gases zurückbleiben. Die Wirksamkeit dieses Mittels verursacht das Perlen moussirender Weine, der Mineralwässer, wenn man eine Flasche derselben öffnet. Indeß gibt es doch Gase, wie z. B. Ammoniakgas, Salzsäuregas, wovon selbst im luftleeren Raume ein Theil mit Wasser in Verbindung bleibt. Wir sind geneigt, dieses als ein Zeichen einer chemischen Verbindung des Gases mit der tropfbaren Flüssigkeit zu betrachten, und in allen andern Fällen die Absorption als mechanische Wirkung anzusehen. 2) Veränderung des damit in Berührung stehenden Gases. Dadurch wird zwar ein Theil des absorbirten Gases frei, dafür aber ein Theil des neuen Gases absorbirt. 3) Erhitzen oder Erkälten bis zum Frieren. Daher kommen die Luftblasen im Eise. 4) Zusatz eines gepulverten Stoffes oder eines solchen, der sich in der Flüssigkeit auflöset und ein Fluidum erzeugt, das weniger Gas absorbirt. So z. B. läßt Wasser die eingesaugte Luft größtentheils fahren, wenn man Schwefelsäure oder Kochsalz damit mischt.

D. Gleichgewicht der Dünste.

256. Man weiß seit undenklichen Zeiten, daß Wasser, der freien Luft bei der gewöhnlichen Temperatur in einem offenen Gefäße ausgesetzt, fortwährend weniger wird und endlich ganz verschwindet; etwas Aehnliches bemerkt man auch beim Sieden desselben, nur mit dem Unter-

schiede, daß hier die Verminderung viel schneller eintritt. In letzterem Falle kann man nicht läugnen, daß die tropfbare Masse in einen luftartigen Körper, in Wasserdunst, übergeht, im ersteren aber glaubte man lange annehmen zu müssen, das Wasser werde von der Luft eben so aufgelöst, wie z. B. Kochsalz vom Wasser. Einige Physiker, wie z. B. Saussure, ließen wohl das Wasser auch unter der Siedhitze in einen ausdehnsamen Körper übergehen, meinten aber, es werde dieser erst nachher von der Luft aufgelöst. Allein theils die früher bewiesenen Gesetze des Gleichgewichtes der Gase (252), unter welchen auch der Wasserdunst als expansibler Körper stehen muß, insbesondere aber die folgenden Versuche, aus denen hervorgeht, daß das Wasser und jede andere tropfbare Flüssigkeit im luftleeren Raume, wo an keine Auflösung zu denken ist, nach denselben Gesetzen verdünstet, wie in der Luft, und daß der Dunst die Eigenschaften, welche er im luftleeren Raume besitzt, in jeder Luftart unverändert beibehält, lassen keinen Zweifel übrig, daß Flüssigkeiten auch unter ihrer Siedhitze verdunsten, und daß der Dunst in jeder Luftart wirklich eben so selbstständig besteht, wie ein Gas in dem andern. (Von den Gesetzen der Dunstbildung in der Wärmelehre.)

257. Um die Eigenschaften der Dünste und die daraus fließenden Gesetze, nach welchen sie unter sich und mit andern Kräften ins Gleichgewicht treten, kennen zu lernen, bedient man sich am besten des von Dalton gebrauchten Apparates, den Fig. 102 vorstellt. Man bringt nämlich in den leeren Raum einer Barometerröhre a, die der Länge nach in gleiche Theile getheilt ist, einige Tropfen der Flüssigkeit, deren Dünste man untersuchen will. Die Barometerröhre umgibt man mit einer weiteren Röhre b von Glas, die oben offen ist, und durch deren Boden die Barometerröhre luftdicht geschoben wird, füllt den Zwischenraum mit Wasser aus, bringt dieses nach und nach auf verschiedene Temperaturen, die man mittelst eines Thermometers mit cylindrischem Gefäße mißt, und vergleicht bei jeder Temperatur die Höhe der Quecksilbersäule in diesem Barometer mit der in einem gewöhnlichen. Der Unterschied, um welchen letztere die erstere übertrifft, gibt offenbar die Größe der Expansivkraft der entstandenen Dünste an. Für höhere Temperaturen bedient man sich einer, der heberförmigen Röhre ab (Fig. 103) ähnlichen Vorrichtung, in deren geschlossenen Arm b man die Flüssigkeit bringt, um deren Dünste es sich handelt; den übrigen Raum füllt man mit Quecksilber, und setzt den Apparat wieder den beabsichtigten Temperaturen aus. So wie dem Dunste eine Spannkraft entspricht, die größer ist, als der auf die eingesperrte Flüssigkeit ausgeübte Druck von Seite der Quecksilbersäule im Apparate und der äußeren Luft, wird das Quecksilber im eingeschlossenen Schenkel herabgedrückt, und die Summe zwischen der Höhe der Quecksilbersäule in einem gleichzeitig beobachteten Barometer und derjenigen Säule, um welche das Quecksilber im offenen Arme höher steht, als im geschlossenen, ist wieder das Maß der Expansivkraft der Dünste. Für Temperaturen unter dem Eispuncte, wo das in der äußeren Röhre (Fig. 102)

entstandene Eis keine Beobachtung des Standes der Quecksilbersäule mehr erlaubt, hat Gay-Lussac seine Barometerröhre am oberen Ende schief gebogen (Fig. 104), und sie daselbst in eine erkältende Mischung getaucht. Da müssen alle Dünste in der Röhre wegen der Kleinheit des Raumes und dem Bestreben des Dunstes sich darin in das Gleichgewicht zu setzen, die Spannkraft annehmen, welche der mindesten daselbst herrschenden Temperatur entspricht, und man kann sie wieder leicht aus der Differenz im Stande dieses Barometers und eines andern daneben befindlichen entnehmen. Um endlich die Spannkraft des Wasserdunstes, dessen Verhalten den Physiker am meisten interessirt, bei jeder herrschenden Temperatur der Atmosphäre beobachten zu können, empfiehlt Prechtl die in Fig. 105 abgebildete Vorrichtung, die gleichsam ein abgekürztes, gleichschenkeliges, ganz geschlossenes Heberbarometer vorstellt, in dessen einem Arme sich etwas Wasser befindet, das den Dunst liefert. Da gibt der Höhenunterschied der Quecksilbersäulen in beiden Armen die Größe der Spannkraft der Dünste an.

258. Mittelst solcher Apparate hat man sich überzeugt, daß sich bei jeder Temperatur über 0° C. und sogar noch weit unter 0° C. bis zu einer noch unbestimmten Grenze Wasserdunst bildet und besteht, und eine gewisse Spannkraft und Dichte erlangen kann, welche nur von der Temperatur abhängt, und sich nicht, wie dieses bei Gasen der Fall ist, durch Verminderung des Volums vergrößern läßt; denn so wie eine solche Raumverminderung eintritt, findet keine Verdichtung des Dunstes Statt, sondern es geht nur ein Theil desselben in tropfbares Wasser über, und der Rest hat wieder seine vorige Expansivkraft und Dichte. Diese ist daher für die herrschende Temperatur ein Maximum. Dieses Maximum der Dichte und Expansivkraft wächst mit der Temperatur, jedoch in einem größeren Verhältnisse als letztere. Werden Dünste, die nicht mit Wasser in Berührung sind, erwärmt, so dehnen sie sich, wenn sie unter einem constanten äußeren Drucke stehen, wie Gase aus (für 1° C. um 0,00365 des Volums bei 0° C.), und nehmen, wenn sie sich nicht ausdehnen können, um eben so viel an Spannkraft zu; werden sie abgekühlt, so ziehen sie sich zusammen, bis ihre Spannkraft das der herabgesetzten Temperatur entsprechende Maximum erreicht hat. Dünste, die mit Wasser in Berührung stehen, verhalten sich beim Abkühlen, wie die im vorhergehenden Falle, beim Erwärmen werden aber nicht bloß die schon vorhandenen ausdehnsamer, sondern es entstehen auch neue, bis das Maximum der Spannkraft erreicht ist. Unter diesem Maximum befolgen Dünste auch das Mariotte'sche Gesetz. Die folgende Tafel gibt das Maximum der Spannkraft des Wasserdunstes, ausgedrückt durch die Höhe der Quecksilbersäule, welche der Dunst zu tragen vermag, auf die Quecksilbertemperatur 0° C. reducirt, von — 20° bis 110° C., wie sie sich aus Dalton's Versuchen mittelst einer besonderen von Biot deducirten Formel ergeben.

Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.
— 20	0,607	— 5	1,667	10	4,316	25	10,517
19	0,651	4	1,780	11	4,589	26	11,137
18	0,697	3	1,899	12	4,877	27	11,789
17	0,746	2	2,026	13	5,183	28	12,476
16	0,799	1	2,161	14	5,506	29	13,199
15	0,856	0	2,304	15	5,847	30	13,961
14	0,916	+ 1	2,457	16	6,208	35	18,406
13	0,980	2	2,618	17	6,590	40	24,143
12	1,049	3	2,789	18	6,993	50	40,461
11	1,121	4	2,971	19	7,419	60	65,900
10	1,198	5	3,164	20	7,869	70	104,34
9	1,281	6	3,369	21	8,343	80	160,39
8	1,369	7	3,585	22	8,844	90	239,29
7	1,462	8	3,815	23	9,373	100	345,42
6	1,561	9	4,058	24	9,930	110	485,59

Diese Spannkräfte kommen aber nur den aus reinem Wasser entstandenen Dünsten zu; für Dünste aus Wasser, welches Salz oder andere Körper aufgelöst enthält, fallen sie geringer aus. (Egen in Pogg. Ann. 27. 9.)

Nach Gay-Lussac beträgt die Spannkraft der Dünste aus einer wässerigen Kochsalzlösung von der Dichte 1,096 bei 10° C. nur etwa 0,9, die der aus Schwefelsäure von der Dichte 1,493 entstandenen nur 0,18 derjenigen Spannkraft, welche den aus reinem Wasser gebildeten bei derselben Temperatur zukommt. Nach Prinsep (Zeitschr. 2. 29) bleibt dieses Verhaltniß für alle Temperaturen gleich.

259. Wasserdünste, die sich in der Luft oder in einer andern gasförmigen Substanz bilden, oder derselben beigemengt werden, vermengen sich gleichförmig mit ihr, so wie sich ein Gas mit einem andern vermengt (252), verhalten sich da so wie im leeeren Raume und zeigen dieselbe Spannkraft wie in diesem. Von letzterem überzeugt man sich mittelst eines Barometers, mit dem man, wie in 257 erklärt wurde, verfährt, nur daß man zuerst in den obern Raum atm. Luft oder ein anderes Gas bringt und den Quecksilberstand beobachtet, und nachdem man etwas von der Flüssigkeit, deren Dünste zu untersuchen sind, dazu treten läßt, die Beobachtung wiederholt. Da man auf diese Weise das Volum und die Spannung der trockenen Luft, und das Volum der Luft sammt dem Dunste und die Totalspannung beider kennt, so kann man aus letzterer den Theil, welcher der Luft gehört, mittelst des Mariotte'schen Gesetzes abscheiden, und der Rest gibt die Spannkraft des Dunstes. Viel bequemer ist es jedoch, letztere Spannkraft unmittelbar zu beobachten. Man bedient sich dazu des Apparates Fig. 106. Dieser besteht aus einem in gleiche Raumtheile getheilten, oben geschlossenen, unten mit einer Stahlfassung und einem Stahlhahn versehenen Glasrohre A von etwa 1 Zoll Durchmesser, an des-

sen Seite eine engere und längere offene Röhre B angeblasen ist. Der ganze Apparat kommt auf ein Gestell zu stehen, so daß B einen verticalen Stand hat. Wenn man einen Versuch machen will, so füllt man durch den Hahn das Rohr A halb voll Quecksilber, schließt dann den Hahn und stellt den Apparat auf sein Gestell. Steht das Quecksilber nicht in beiden Schenkeln gleich hoch, so erhält man diesen gleichen Stand durch Zugießen von neuem Quecksilber durch die Röhre B oder durch Ablassen mittelst des Hahnes. Man mißt das Luftvolum im Rohre A. Nun gießt man von der Flüssigkeit, um deren Dünste es sich handelt, etwas in das Rohr B, und schafft einen Theil dadurch in das Gefäß A, daß man durch den Hahn so viel Quecksilber ablaufen läßt, bis jene Flüssigkeit unter die Zusammenfügungsstelle beider Röhren gekommen ist. Das abgelassene Quecksilber füllt man hierauf wieder durch B ein. Neigt man nun das Rohr A, damit seine Wände durch die eingefüllte Flüssigkeit benetzt werden, so bilden sich die Dünste rasch und das Quecksilber in A fällt. Ist es zum Stillstand gekommen, so wird so viel Quecksilber durch B nachgefüllt, als nothwendig ist, um Dunst und Luft auf das frühere Volum zu bringen, und man mißt hierauf die Höhe der im Rohre B zugesetzten Quecksilbersäule. Diese gibt die Spannkraft des Dunstes für die bestehende Temperatur. Man mag diese nach der einen oder nach der andern Methode bestimmen, stets findet man selbe der Spannkraft, welche der Dunst bei derselben Temperatur im luftleeren Raume besitzt, vollkommen gleich.

Wird ein Gas mit Dunst im Maximum e der Spannkraft gemengt und soll das Gemenge dieselbe Spannkraft p zeigen, die vorher das isolirte Gas besaß, so muß dessen ursprüngliches Volum v vergrößert werden. Die Vergrößerung x läßt sich leicht finden, wenn man bedenkt, daß das Gas, welches bei dem Volum v die Spannung p besaß, unter dem Volum $v + x$ nur mehr die Spannung $\frac{vp}{v+x}$ haben kann. Diese um e, die Spannkraft des Dunstes vermehrt, muß die Summe p geben. Somit hat man die Gleichung $\frac{vp}{v+x} + e = p$, woraus $x = \frac{ev}{p-e}$ folgt.

260. Die Dünste anderer Flüssigkeiten befolgen dieselben Gesetze, wie die des Wassers, aber die Expansivkraft derselben weicht von jener der Wasserdünste ab, und ist überhaupt für dieselbe Temperatur desto kleiner, je schwerer die Flüssigkeit siedet. So z. B. liefert Quecksilber bei der gewöhnlichen Lufttemperatur, wo die Spannkraft der Wasserdünste schon bedeutend ist, Dünste von so geringer Spannkraft, daß sie selbst im Barometer keine merkliche Depression erzeugen, und selbst bei 100° C. ist diese Spannkraft nicht größer als 0,012 W. L. (Pogg. Ann. 27. 60.)

Flüssigkeiten, deren Siedpunct sehr tief liegt, geben dagegen Dämpfe von bedeutender Spannkraft. In dieser Hinsicht ist der Schwefeläther merkwürdig und daher vorzüglich geeignet, die Gesetze des Gleichgewichtes der Dünste in Versuchen mit der Torricellischen Röhre (257) anschaulich zu machen. Auch Schwefelkohlenstoff liefert Dünste von großer Spannkraft.

261. Ein wichtiges Problem ist die Bestimmung der Dichte des Dunstes eines gegebenen Stoffes bei festgesetzter Spannkraft und Temperatur. Man gelangt hiedurch zugleich in den Besitz der Daten zur Beurtheilung der specifischen Expansivkraft dieses Dunstes, in Vergleichung mit jener der atmosphärischen Luft oder irgend eines andern bereits untersuchten gasförmigen Stoffes. Um erwähntes Problem zu lösen, ist es nothwendig, eine abgewogene Menge dieses Stoffes in einen geschlossenen Raum zu bringen, ihn in Dunst zu verwandeln und mit Beachtung der herrschenden Spannkraft und Temperatur, das Volum desselben zu bestimmen. Dahin gelangte Gay-Lussac für Wasser durch folgendes Verfahren: Ein kleines hohles Glaskügelchen, das in ein dünnes Röhrchen auslief, wurde im leeren Zustande abgewogen, hierauf mit Wasser gefüllt, zugeschmolzen, wieder gewogen und so das Gewicht des Inhaltes genau gefunden. Dieses Kügelchen wurde in einen in gleiche Theile getheilten, mit reinem Quecksilber gefüllten Recipienten gebracht und derselbe erhitzt, bis das Wasser die Glashülle zersprengte, wo sich dann Dunst bildete, dessen Volum man messen und mit dem eines gleichen Gewichtes einer gleichwarmen Luftmasse vergleichen konnte. Bevor dieses geschah, mußte der Dunst nach dem Mariotte'schen Gesetze auf den vollen Luftdruck (230) reducirt werden. So fand man, daß Wasserdunst bei 100° C. und 0,76 Meter Barometerhöhe 1700mal leichter ist als Wasser bei 0° C. Aber die Luft ist unter genanntem Drucke bei 0° C. 770mal, mithin (nach 231) bei 100° C. 770 (1 + 0,364), d. h. 1050mal leichter als Wasser; es verhält sich daher die Dichte des Dunstes unter genannten Umständen zur Dichte der Luft, wie 1050 zu 1700, d. h. nahe wie 0,62 : 1, oder auch wie 1 : 1,6. Nach dem Mariotte'schen und Gay-Lussac'schen Gesetze kann man dieses Resultat auch auf alle andern Temperaturen und Spannkräfte ausdehnen und daher annehmen, daß überhaupt die Dichte des Wasserdunstes $^{10}/_{16}$ von jener der Luft unter denselben Umständen beträgt. Auf ähnliche Weise findet man die Dichte des Alkoholdunstes = 1,60, des Schwefelätherdunstes = 2,58 u. dgl. Hieraus folgt (246), im Vergleiche mit atm. Luft, die specifische Expansivkraft des Wasserdunstes = 1,61, des Alkoholdunstes = 0,62, des Aetherdunstes = 0,39.

Zur Bestimmung der Dichte des Dunstes eines Stoffes, zumal eines solchen, zu dessen Verflüchtigung eine höhere Temperatur erforderlich ist, kann man auch in ein schickliches Gefäß eine Menge des Stoffes bringen, deren Dunst einen Raum einnimmt, der den Inhalt des Gefäßes viele Male übertrifft, und nachdem man die Mündung des Gefäßes in eine Spitze ausgezogen hat, dasselbe so lange erhitzen, bis kein Dunst mehr entweicht, sodann die Spitze zuschmelzen. Die im Gefäße enthaltene Luft wurde hiebei ausgetrieben, und der Dunst hatte die Spannkraft der umgebenden Luft. Die Wägung des mit dem Dunste, mit Luft und endlich mit Wasser gefüllten Gefäßes, nebst Temperatur und Barometerstand, geben die Daten zur Bestimmung der Dichte des Dunstes. So hat man z. B. die Dichte des Schwefeldunstes = 6,654 gefunden.

262. Man kann auch die Dichte des Dunstes eines zusammengesetzten Stoffes, dessen Bestandtheile unter den gewöhnlichen Umstän-

den gasförmig auftreten, wie dieß gerade bei dem Wasser der Fall ist, aus den bekannten Dichten dieser Bestandtheile nach der in 245 angegebenen Methode berechnen; auf die Dichte des Dunstes eines einfachen Stoffes aber entweder durch Umkehrung dieses Verfahrens aus der Dichte eines Gases, wovon er ein Bestandtheil ist, oder, mit gehöriger Vorsicht, aus seinem Atomgewichte schließen.

Nimmt man an, daß durch Verbrennung von 2 Vol. Wasserstoffgas in 1 Vol. Sauerstoffgas 2 Vol. Wasser gebildet werden, so findet man, weil die Dichte des Wasserstoffgases = 0,0688 und jene des Sauerstoffgases = 1,1026 ist, in sofern die Dichte der atm. Luft als Einheit betrachtet wird, die Dichte des Wasserdunstes = 1,2402 : 2 = 0,6201, was mit obigem Resultate nahe übereinstimmt.

Um die Dichte des Alkohol- oder Aetherdunstes auf diesem Wege zu berechnen, muß man vorerst die Dichte des Kohlendunstes kennen, d. h. jene, welche der Kohlenstoff haben würde, wenn er luftförmig erschiene. Unter der Voraussetzung, daß 2 Vol. Kohlenoxydgas aus 1 Vol. Sauerstoffgas und 1 Vol. Kohlendunst bestehen, folgt aus der Dichte des Kohlenoxydgases = 0,9727 und aus jener des Sauerstoffes, die Dichte des Kohlendunstes = 0,8428. Dasselbe Resultat erhält man, wenn man annimmt, daß 1 Vol. Kohlendunst mit 2 Vol. Sauerstoffgas 2 Vol. Kohlensäuregas, dessen Dichte = 1,524 ist, liefert. Betrachtet man nun 2 Vol. Aetherdunst als das Resultat der Verbindung von 4 Vol. Kohlendunst mit 10 Vol. Wasserstoffgas und 1 Vol. Sauerstoffgas; ferner 2 Vol. Alkohol als hervorgehend aus 2 Vol. Kohlendunst, 6 Vol. Wasserstoffgas und 1 Vol. Sauerstoffgas, wozu die stöchiometrischen Formeln dieser Stoffe die Anleitung geben, so findet man die Dichte des Aetherdunstes = 2,5809 und die Dichte des Alkoholdunstes = 1,6003.

Die Dichte des Kohlendunstes ergibt sich unmittelbar aus dem Atomgewichte des Kohlenstoffes, bezogen auf O = 1, wenn man dasselbe durch die Dichte des Sauerstoffgases dividirt. In den meisten Fällen kann man in der That die Dichten einfacher gasförmiger Stoffe ihren Atomgewichten proportional setzen, doch geht dieß nicht allgemein an, wie aus den Resultaten erhellet, zu welchen Dumas und Mitscherlich geführt wurden; denn es zeigte sich das Schwefelgas dreimal, das Phosphorgas zweimal dichter als nach dieser Annahme. Indessen steht in allen bisher beobachteten Fällen die Dichte eines gasförmigen Grundstoffes zu seinem Atomgewichte in einem einfachen Verhältnisse.

263. Die atmosphärische Luft enthält stets Wasserdünste, jedoch nicht jederzeit so viel, als sie davon aufzunehmen vermag. Es zeigt also der Barometerstand nicht bloß den Druck der atm. Luft, sondern auch jenen des ihr beigemengten Wasserdunstes an. Der Dunstgehalt der Luft spielt eine sehr wichtige Rolle, er veranlaßt viele Erscheinungen im großen Haushalte unserer Erde, als: Thau, Reif, Nebel, Wolken, Regen, Schnee, Hagel, die man Wassermeteore nennt, und welche im dritten Theile dieses Buches näher untersucht werden; im Kleinen gibt er seine Anwesenheit durch die Veränderungen zu erkennen, denen Stoffe, die eine Neigung zur Aufnahme von Wasser haben, unterliegen. An dem gegenwärtigen Orte beschäftigen wir uns bloß mit der Angabe der Mittel zu den quantitativen Bestimmungen, welche bezüglich des Dunstgehaltes der Luft in Frage kommen. Die Größen, um welche es sich hier handelt, reduciren sich der Hauptsache

nach auf folgende drei: 1) Die Expansivkraft des in der Luft vorhandenen Wasserdunstes; 2) die Menge des Dunstes, welche ein gegebener Raum enthält; 3) das Verhältniß der wirklich vorhandenen Spannkraft oder Menge des Dunstes zu dem Maximum der Spannkraft oder Menge, das der herrschenden Temperatur zufolge obwalten könnte. Man nennt den Exponenten des letzteren Verhältnisses, nämlich den Quotienten, der aus der Division der vorhandenen Spannkraft oder Menge durch das mögliche Maximum entspringt, die relative Spannkraft oder Menge, im Gegensatze mit dem Dividend selbst, der die absolute Spannkraft oder Menge des Dunstes heißt. Da der Dunst in der Luft gerade so, wie im leeren Raume besteht, und unterhalb des Maximums seiner Spannkraft den für Gase geltenden Gesetzen gehorcht, so ist klar, daß der Ausdruck der relativen Spannkraft zugleich jener der relativen Menge des Dunstes ist, also zwischen diesen zwei Größen kein Unterschied obwaltet, und daß, wenn nebst der Temperatur eine der so eben genannten drei Quantitäten bekannt ist, auch die zwei übrigen als bekannt betrachtet werden dürfen, so daß es eigentlich nur auf die Bestimmung einer einzigen derselben ankommt.

Bezeichnet man durch e die herrschende Spannkraft des Dunstes, ausgedrückt durch die Höhe der äquivalenten Quecksilbersäule; durch t die Temperatur; durch B den Normalbarometerstand; durch σ das specifische Gewicht der Luft auf den Normalbarometerstand und auf die Temperatur 0° C. bezogen; durch α den Ausdehnungscoefficienten der Luft für 1° C., und durch β die Dichte des Dunstes im Vergleiche mit jener der Luft bei gleicher Spannkraft und Temperatur, wobei also $\alpha = 0{,}00365$ und $\beta = 0{,}6201$ ist, so gibt $\frac{\sigma}{1+\alpha t}$ das specifische Gewicht der Luft bei dem Barometerstande B und bei der Temperatur t an; $\frac{e}{B} \cdot \frac{\sigma}{1+\alpha t}$ ist das specifische Gewicht der Luft bei der Spannkraft e und der Temperatur t, und daher, wenn man das specifische Gewicht des mit der Spannkraft e versehenen Wasserdunstes bei dieser Temperatur s nennt, $s = \frac{\beta e}{B} \cdot \frac{\sigma}{1+\alpha t}$. Man sieht hieraus, wie man, wenn Spannkraft und Temperatur des Dunstes gegeben sind, die Menge des in der Volumseinheit befindlichen Dunstes, und umgekehrt aus dieser Menge und aus der Temperatur die Spannkraft finden könne. Bezeichnet endlich für die herrschende Temperatur, E das Maximum der Spannkraft, S das Maximum des specifischen Gewichtes und f die vorhandene relative Spannkraft des Dunstes, so ist $f = \frac{e}{E}$ und wegen $S = \frac{\beta E}{B} \cdot \frac{\sigma}{1+\alpha t}$ auch $\frac{s}{S} = \frac{e}{E} = f$, wodurch sich die Einerleiheit der relativen Spannung und Menge des Dunstes bestätiget. Aus dem Ganzen erhellet aber, daß wenn nebst der herrschenden Temperatur von den drei Größen e, s und f eine bekannt ist, die Angabe der beiden andern das Resultat einer einfachen Rechnung ist, und demnach keiner weiteren Schwierigkeit unterliegt.

264. Körper, welche eine Neigung zur Aufnahme von Wasser haben, absorbiren den in der Luft befindlichen Wasserdunst, condensiren ihn und durchziehen sich in Folge dessen mit tropfbarem Wasser, wenn sie sich nicht gar mit demselben chemisch verbinden. Wir schreiben daher der Luft, in so fern sie Wasserdunst enthält, Feuchtigkeit zu, und unterscheiden verschiedene Abstufungen des Feuchtigkeitszustandes der Luft, nach Maßgabe der Leichtigkeit, womit Körper, die ein Bestreben zeigen feucht zu werden, aus der Luft Wasser erhalten. Es ist Sache der Wissenschaft, solchen sich uns im gemeinen Leben aufdringenden Begriffen quantitativer Beziehungen die gehörige Präcision zu geben, und die denselben zum Grunde liegenden Größen auf ein schickliches Maß zurückzuführen. Ein Körper, der das in der Luft im ausdehnsamen Zustande vorhandene Wasser zur Aenderung seiner Aggregationsform zu nöthigen vermag, bringt offenbar durch die Kräfte, welche seine Theilchen auf die Dunsttheilchen ausüben, diese einander so nahe, daß die ausdehnsame Form nicht fortbestehen kann. Das diesem Effecte entgegenstehende Hinderniß, nämlich die zwischen den Dunsttheilchen waltende abstoßende Kraft, ist ohne Zweifel um so leichter zu überwinden, je näher der Dunst in der Luft bereits jener Dichte steht, bei welcher er seine ausdehnsame Form einbüßt; denn da bedarf es nur einer geringen Condensation, um einen Theil desselben in den tropfbaren Zustand überzuführen. Bei gleicher Temperatur wird daher die Größe, welche man Feuchtigkeitsgrad der Luft nennen mag, zunehmen, wenn die Menge und mit ihr die Spannkraft des in der Luft enthaltenen Dunstes wächst, und es erscheint am natürlichsten, den Feuchtigkeitsgrad bei constanter Temperatur der Menge oder Spannkraft des Dunstes proportional zu setzen. Bei verschiedenen Temperaturen hingegen wird dieß nicht genügen, denn mit der Temperatur steigt auch das Maximum des Dunstgehaltes der Luft, und es kann die Condensation des Dunstes in einem Falle schwieriger werden, wenn gleich in demselben Raume mehr Dunst vorhanden ist, als in einem andern Falle, wo eine niedrigere Temperatur herrscht, und daher der Condensationspunct minder ferne liegt. Das einfachste und plausibelste Maß des Feuchtigkeitsgrades ergibt sich unstreitig durch die Annahme, daß derselbe dem Quotienten proportional sey, aus der herrschenden Spannkraft des Dunstes, getheilt durch die größtmögliche, d. h. daß er mit derjenigen Größe, welche oben relative Spannkraft oder Menge des Dunstes genannt wurde, in geradem Verhältnisse stehe. Diese Annahme wird insbesondere dadurch unterstützt, daß sich kein Grund zeigt, zwischen dem Feuchtigkeitszustande der Luft, welcher dem größtmöglichen Dunstgehalte entspricht, bezüglich verschiedener Temperaturen, einen Unterschied zu machen. Man könnte sogar den Feuchtigkeitsgrad der relativen Spannkraft des Dunstes gleich stellen, wobei die größte Feuchtigkeit durch die Einheit, und jede andere durch einen echten Bruch ausgedrückt würde; da es jedoch bei dem practischen Gebrauche bequem ist, bloß mit ganzen Zahlen zu thun zu haben, so wird das Maximum der Feuchtigkeit lieber mit 100 bezeich-

net und der Feuchtigkeitsgrad der Luft dadurch angegeben, daß man anzeigt, wie viele Procente des der herrschenden Temperatur zugehörenden Maximums der Spannkraft oder Menge des Dunstes wirklich vorhanden sind. Nennt man den so bestimmten Feuchtigkeitsgrad F, so ist also, wenn die obige Bezeichnung beibehalten wird,

$$F = 100 f = \frac{100 e}{E}.$$

265. Jedes Instrument, welches eine auf den Dunstgehalt sich beziehende Größe angibt, kann dem oben Gesagten zu Folge zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgrades der Luft dienen, und heißt darum ein Hygrometer. Es lassen sich daher im Allgemeinen auch drei verschiedene Gattungen von Hygrometern denken, je nachdem die unmittelbare Anzeige des Instrumentes entweder die absolute Expansivkraft des Dunstes, oder dessen absolute Menge, oder den Feuchtigkeitsgrad selbst betrifft. Sicherheit der Angabe und Bequemlichkeit des Gebrauches vereinigen unter den bis jetzt bekannten Hygrometern bloß jene der ersten Gattung in sich, wovon man mehrere Arten hat, daher wir vor Allem auf diese unser Augenmerk richten.

266. Man kann die absolute Expansivkraft des zu einer gegebenen Zeit in freier Luft oder in irgend einem Locale vorhandenen Wasserdunstes mit großer Genauigkeit mittelst eines Verfahrens bestimmen, dessen näherer Erklärung folgende Betrachtung als Einleitung dienen mag: Man denke sich in den Raum, worin die hinsichtlich ihrer Spannkraft zu untersuchenden Dünste sich befinden, einen Körper gebracht, dessen Dimensionen gegen jene des Raumes als unmerklich klein betrachtet werden dürfen, und dessen Temperatur man durch irgend eine Veranstaltung stufenweise zu erniedrigen im Stande sey. Wird nun der Körper kälter, so werden es auch die ihn berührenden Dünste, und da die Theilchen des Dunstes in der Luft, unabhängig von dieser, auf einander wirken und nach Gleichgewicht streben, so wird der Verlust an Spannkraft, den der Dunst in Folge der Abkühlung erleidet, und die dadurch entstehende Störung des Gleichgewichtes, durch den Umstand compensirt, daß die kälteren Dunsttheilchen wegen des von der übrigen Dunstmasse herrührenden Druckes näher an einander gedrängt, d. i. verdichtet werden, dadurch einander stärker abstoßen und daher wieder in den Stand kommen, der Expansivkraft der angrenzenden Dunsttheile das Gleichgewicht zu halten. Wäre das Volum der Dunstmenge, auf welche sich der erkältende Einfluß des Körpers erstreckt, ein namhafter Theil des gesammten Raumes, so zöge der so eben betrachtete Vorgang eine Aenderung der ursprünglich vorhandenen Expansivkraft des gesammten Dunstes nach sich; allein unter der Voraussetzung, welche wir bezüglich der Größe des erkalteten Körpers gemacht haben, darf man wohl annehmen, daß die Temperaturänderung nur in einer kleinen Distanz vom Körper fühlbar sey, und die daselbst eintretende Verschiebung der Dunstpartikel im übrigen Raume keine wahrnehmbare Aenderung der Dichte des Dunstes verursache. Es behält demnach die Spannkraft des mit dem Körper in unmittelbarer

Berührung stehenden Dunstes während der Abkühlung stets dieselbe Größe bei, welche sie früher hatte. Da jedoch die Spannkraft des Dunstes ein gewisses, von der Temperatur abhängendes Maximum nicht überschreiten kann, so hört die Möglichkeit des Bestehens der Dunstform auf, sobald die Temperatur eines mit ihm in Berührung stehenden Körpers so weit herabsinkt, daß das nunmehr mögliche Maximum kleiner ist, als die Spannkraft, welche der Dunst nothwendig haben muß, um der übrigen Dunstmasse das Gleichgewicht zu halten: der mit dem Körper in Berührung kommende Dunst geht daher in diesem Falle in den tropfbarflüssigen Zustand über, und erscheint am Körper als ein wässeriger Ueberzug, ähnlich dem Thau, und kann bei sehr niedriger Temperatur sogar gefrieren, d. h. einen sogenannten Reif bilden. Aus dem Gesagten ergibt sich die für die Hygrometrie höchst wichtige Folgerung, daß wenn man die Temperatur kennt, bei welcher der in einem hinreichend weiten Raume vorhandene Dunst während der successiven Abkühlung eines kleinen Körpers seine expansible Form zu verlassen beginnt (so daß er bei jeder vorangehenden, nämlich höheren, Temperatur noch in vollem Besitze der Ausdehnsamkeit ist), man nur das dieser Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft des Dunstes aufzusuchen braucht, um damit zugleich die Expansivkraft zu erhalten, die dem wirklich vorhandenen Dunste eigen ist. Man nennt die Temperatur, bei welcher der Uebergang des Dunstes in tropfbare Flüssigkeit erfolgt, die Bethauungstemperatur, auch den Thaupunct des Dunstes. Daher gilt der Satz: Die absolute Spannkraft des Dunstes ist zugleich das seiner Bethauungstemperatur entsprechende Spannkrafts-Maximum, vorausgesetzt, daß die Erkältung nur einen unmerklichen Theil des Dunstes trifft.

Der hier entwickelte theoretische Gedanke läßt sich auf die leichteste und sicherste Weise dadurch ins Werk setzen, daß man die Kugel eines Thermometers als den zu erkältenden Körper wählt. Man überwickelt dieselbe zu diesem Zwecke mit Musselin und bedeckt deren untere Hälfte mit einem vergoldeten polirten, gut anschließenden Schälchen von sehr dünnem Messing- oder besser Silberbleche. Benetzt man die Musselindecke mit einigen Tropfen Schwefeläther, so entzieht dieser bei seinem raschen Verdünsten der Thermometerkugel Wärme, das Schälchen wird abgekühlt, und die polirte Metallfläche, auf welcher der leiseste Hauchanflug leicht wahrzunehmen ist, zeigt sich bald durch eine Thaulage getrübt. Der Quecksilberstand des Thermometers im Augenblicke, wo diese Trübung erscheint, gibt den Thaupunct an. Nimmt man die genannter Temperatur correspondirende Zahl aus der Tafel (258), so hat man das Maß der Spannkraft der das Thermometer umgebenden Dünste. Dieses Instrument, welches man das Schwefelätherhygrometer nennt, wurde von Körner als Vereinfachung einer von Daniell erdachten, auf dasselbe Princip sich gründenden, zwar höchst sinnreichen, aber complicirten und schwieriger anzufertigenden Vorrichtung angegeben.

Daniell's Hygrometer ist in Fig. 107 abgebildet. A ist eine gläserne oder metallene, fein polirte und luftdichte Kugel, die etwas Schwefeläther und die Kugel eines empfindlichen Thermometers enthält, und mittelst der Röhre B mit einer zweiten ähnlichen Kugel C verbunden ist, welche von außen mit feinem Musselin umwickelt worden. Beide Kugeln sammt der Röhre B sind luftleer und enthalten nur Aether. Wird durch die Wärme der Hand aller Aether in die Kugel A getrieben, und hierauf C von außen mit Aether befeuchtet, so verursacht die durch das Verdünsten entstandene Kälte eine Verdichtung des inwendigen Aetherdunstes, mithin eine neue Verdünstung in A und dadurch ein Sinken des Thermometers. Sobald A so weit erkältet ist, daß sich an der Kugel rings um die Oberfläche des Aethers ein schmaler Thauring bildet, beobachtet man das Thermometer in A, und findet für seine Anzeige in Dalton's Tafel die Expansivkraft des Dunstes. Was hier Daniell durch das Benetzen der Kugel C, das bringt Döbereiner dadurch hervor, daß er Luftblasen durch den Aether leitet. (Gilb. Ann. 70. 135.) Die erste Idee der Benützung der Bestimmung des Thaupunctes zu hygrometrischem Zwecke hatte schon Le Roy um die Mitte des vorigen Jahrhunderts; allein erst Dalton nahm sie wieder auf, und betrachtete sie aus dem wahren Gesichtspuncte. Er nahm ein Cylinderglas mit dünnen Wänden, füllte es mit einer Masse, welche das Glas und mittelst dessen auch die dasselbe umgebende Luft so weit abzukühlen vermochte, daß sich ein feiner Thau an den Wänden anzusetzen begann, zum Zeichen, daß der Sättigungspunct eingetreten, oder eigentlich schon ein wenig überschritten sey. Als erkältende Masse diente im Sommer kaltes Wasser, im Winter eine eigene Mischung. Während der Erkältung wurde die Temperatur des Glases beobachtet, und diejenige besonders bemerkt, bei welcher das Beschlagen der Wände eintrat. Doch gestattet dieses Verfahren begreiflicher Weise keine große Genauigkeit. Noch muß hier des von Belli angegebenen Apparates zur Bestimmung des Thaupunctes gedacht werden (s. dessen Corso elementare di Fisica sperimentale. Vol. II. Milano 1831. S. 513 u. f.). Dieser besteht aus einem an der äußeren Fläche wohl polirten Rohre von Eisen, dessen Ende in Eis oder in eine erkältende Mischung gestellt wird, die, um lange eine niedrige Temperatur zu behalten, sich in einem doppelten Gehäuse befindet. Das Rohr erhält hiedurch an verschiedenen Stellen eine verschiedene Temperatur; diese ist am untern Ende am niedrigsten und nimmt nach oben hin allmälig zu. Der untere Theil der polirten Metallfläche bekleidet sich in Folge dessen mit Thau bis zu der Stelle, welche gerade die Temperatur hat, der die Spannkraft der Dünste in der Luft als Maximum entspricht. Um diese Temperatur zu erfahren, wird in das vorläufig mit Quecksilber gefüllte Rohr ein empfindliches Thermometer so weit eingesenkt, daß dessen Kugel bis zur Grenze zwischen dem bethauten und blanken Theile des Rohres reicht, was man durch den Stand zweier mit der Fassung des Thermometers verbundenen, außerhalb des Rohres herabreichenden Stäbchen erkennt, deren Enden mit dem Mittelpuncte der Kugel gleiche Lage haben.

267. Ein zweites hygrometrisches Verfahren gründet sich auf folgende Betrachtung: Die Dunstbildung ist, wie bereits oben erwähnt wurde, und am gehörigen Orte näher gezeigt werden soll, mit einer gewissen Consumtion von Wärme verbunden, welche die in den ausdehnsamen Zustand übergehenden Theilchen ihrer nächsten Umgebung entziehen. Befindet sich daher eine tropfbare Flüssigkeit in einem Raume,

der mit ihrem Dunste noch nicht gesättiget ist, und eine solche Größe hat, daß die Spannkraft des in ihm vorhandenen Dunstes durch das Dunstquantum, welches die Flüssigkeit zu liefern vermag, nicht merklich geändert wird, so kommt die Verdünstung dadurch, daß sich bald zwischen dem Zufluß und dem Verbrauche der Wärme eine Art Gleichgewicht herstellt, in einen gleichförmigen Gang, und es nimmt die Oberfläche der Flüssigkeit eine Temperatur an, die niedriger ist, als jene der Luft, und von dieser, von der Dichte der Luft und von der Spannkraft des ihr beigemengten Dunstes nach bekannten Gesetzen abhängt. Man nennt diese Temperatur die Verdünstungskälte, auch wohl die Naßkälte. Kennt man also die Temperatur der Luft, den Barometerstand und die stationäre Temperatur einer verdünstenden Wasserschichte, so läßt sich daraus die Expansivkraft des in der Luft vorhandenen Dunstes berechnen. Dieser bereits von Hutton angegebene hygrometrische Weg ist von August zur Construction eines Apparates benützt worden, der das Psychrometer (Naßkältemesser), häufig auch das Thermohygrometer genannt wird. Es besteht dieses Instrument aus einer Zusammenstellung zweier empfindlichen, wohl correspondirenden Thermometer, deren eines die Temperatur der Luft, das andere die Verdünstungstemperatur anzeigt. Zu diesem Zwecke ist die Kugel des letzteren mit Musselin bekleidet, der in einen Fortsatz ausläuft; dieser taucht in ein Schälchen mit Wasser und führt selbes durch Capillarität der Kugel zu, die sonach fortwährend naß erhalten wird. Bedeutet t die Temperatur des befeuchteten, $t + d$ jene des trockenen Thermometers, mithin d den Temperaturunterschied beider Thermometer, b den Barometerstand, M das Maximum der Spannkraft des Dunstes für die Temperatur t, und e die zu suchende Spannkraft des Dunstes in der Luft, so ist für die hunderttheilige Thermometerscale mit einer für die Praxis völlig hinreichenden Genauigkeit

$$e = M - 0{,}0008\,bd \quad . . . (1).$$

Man kann das Psychrometer sogar bei Temperaturen unter 0° C. in Anwendung bringen, wo die Kugel des die Verdünstungstemperatur anzeigenden Thermometers mit einer Eisrinde überzogen ist. In diesem Falle hat man sich jedoch der Formel

$$e = M - 0{,}0007\,bd \quad . . . (1)$$

zu bedienen. Es ist bei dem Gebrauche des Psychrometers mit Anwendung dieser beiden Formeln nicht außer Acht zu lassen, daß das Instrument einem hinreichenden Luftwechsel ausgesetzt sey, durch welchen die von der benetzten Kugel ausgehenden Dünste abgeführt werden, und es hat eine weitere Verstärkung des Luftzuges auf die Angaben des Instrumentes keinen merklichen Einfluß. In einem geschlossenen Locale fächelt man demselben mit einem Papierblatte Luft zu.

268. Sollen Psychrometerbeobachtungen nur einigermaßen brauchbare Resultate geben, so müssen die Thermometer gestatten, unmittelbar $^1/_{10}$ Grad abzulesen. Die Spannkraft des Wasserdunstes läßt sich auch für solche genauere Temperaturangaben leicht aus der Tabelle (258) entnehmen, wenn man innerhalb eines Grades die Aenderungen

der Spannkräfte den Aenderungen der Temperatur proportional setzt. Nachstehende Tabelle, welche die am häufigsten vorkommenden Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale umfaßt und die Spannkräfte von Zehntel- zu Zehntelgraden in Wiener Linien angibt, überhebt der Mühe der Rechnung.

	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
− 10°	1,20	1,21	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,26	1,27
− 9°	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36
− 8°	1,37	1,38	1,39	1,40	1,41	1,42	1,42	1,43	1,44	1,45
− 7°	1,46	1,47	1,48	1,49	1,50	1,51	1,52	1,53	1,54	1,55
− 6°	1,56	1,57	1,58	1,59	1,60	1,61	1,62	1,63	1,65	1,66
− 5°	1,67	1,68	1,69	1,70	1,71	1,72	1,73	1,75	1,76	1,77
− 4°	1,78	1,79	1,80	1,82	1,83	1,84	1,85	1,86	1,88	1,89
− 3°	1,90	1,91	1,92	1.94	1,95	1,96	1,98	1,99	2,00	2,01
− 2°	2,03	2,04	2,05	2,07	2,08	2,09	2,11	2,12	2,13	2,15
− 1°	2,16	2,18	2,19	2,20	2,22	2,23	2,25	2,26	2,28	2,29
0°	2,30	2,32	2,33	2,35	2,37	2,38	2,40	2,41	2,43	2,44
+ 1°	2,46	2,47	2,49	2,51	2,52	2,54	2,55	2,57	2,59	2,60
+ 2°	2,62	2,64	2,65	2,67	2,69	2,70	2,72	2,74	2,75	2,77
+ 3°	2,79	2,81	2,83	2,84	2,86	2,88	2,90	2,92	2,93	2,95
+ 4°	2,97	2,99	3,01	3,03	3,05	3,06	3,09	3,10	3,13	3,14
+ 5°	3,16	3,18	3,21	3,23	3,25	3,27	3,29	3,31	3,33	3,35
+ 6°	3,37	3,39	3,41	3,43	3,46	3,48	3,50	3,52	3,54	3,56
+ 7°	3,59	3,61	3,63	3,65	3,68	3,70	3,72	3,75	3,77	3,79
+ 8°	3,81	3,84	3,86	3,89	3,91	3,94	3,96	3,99	4,01	4,03
+ 9°	4,06	4,08	4,11	4,14	4,16	4,19	4,21	4,24	4,26	4,29
+ 10°	4,32	4,34	4,37	4,40	4,43	4,45	4,48	4,51	4,53	4,56
+ 11°	4,59	4,62	4,65	4,67	4,70	4,73	4,76	4,79	4,82	4,85
+ 12°	4,88	4,91	4,94	4,97	5,00	5,03	5,06	5,09	5,12	5,15
+ 13°	5,18	5,22	5,25	5,28	5,31	5,34	5,38	5,41	5,44	5,47
+ 14°	5,51	5,54	5,57	5,61	5,64	5,68	5,71	5,74	5,78	5,81
+ 15°	5,85	5,88	5,92	5,96	5,99	6,03	6,06	6,10	6,14	6,17
+ 16°	6,21	6,25	6,28	6,32	6,36	6,40	6,44	6,48	6,51	6,55
+ 17°	6,59	6,63	6,67	6,71	6,75	6,79	6,83	6,87	6,91	6,95
+ 18°	6,99	7,04	7,08	7,12	7,16	7,21	7,25	7,29	7,33	7,38
+ 19°	7,42	7,46	7,51	7,55	7,60	7,64	7,69	7,73	7,78	7,82
+ 20°	7,87	7,92	7,96	8,01	8,06	8,11	8,15	8,20	8,25	8,30
+ 21°	8,34	8,39	8,44	8,49	8,54	8,59	8,64	8,69	8,74	8,79
+ 22°	8,84	8,90	8,95	9,00	9,06	9,11	9,16	9,21	9,27	9,32
+ 23°	9,37	9,43	9,48	9,54	9,60	9,65	9,71	9,76	9,82	9,87
+ 24°	9,93	9,99	10,05	10,11	10,16	10,22	10,28	10,34	10,40	10,46
+ 25°	10,52	10,58	10,64	10,70	10,76	10,83	10,89	10,95	11,01	11,07
+ 26°	11,14	11,20	11,27	11,33	11,40	11,46	11,53	11,59	11,66	11,72
+ 27°	11,79	11,86	11,93	12,00	12,06	12,13	12,20	12,27	12,34	12,41
+ 28°	12,48	12,55	12,62	12,69	12,77	12,84	12,91	12,98	13,05	13,13
+ 29°	13,20	13,28	13,35	13,43	13,50	13,58	13,66	13,73	13,81	13,88

Um den Gebrauch dieser Tabelle und die Uebereinstimmung des Psychrometers mit dem Thermohygrometer an einem Beispiele zu zeigen, mag irgend eine der zahlreichen, durch Sorgfalt ausgezeichneten Beobachtungen dienen, welche der österreichische Astronom Ritt. v. Bürg im Jahre 1827 angestellt hat (Zeitschr. 4, 54; 5, 301). Am 24. August des genannten Jahres zeigte das trockene Thermometer nach Réaumur 12°,96, das befeuchtete 8°,87, und die Bethauung des Schwefeläther-hygrometers fand bei 4°,68 Statt. Der Barometerstand war 27,873 engl. Zoll. Die Hundertel der Thermometergrade ergaben sich dadurch, daß aus mehreren Beobachtungen das Mittel berechnet wurde. Reducirt man diese Daten auf die hunderttheilige Thermometerscale und auf Wiener Maß, so hat man für die Temperatur des trockenen Thermometers 16°,2, des befeuchteten 11°,09, des bethauten 5°,85, endlich für den Barometerstand 26,876 Zoll oder 322,51 Lin. Die psychrometrische Differenz ist hier 5°,11, demnach gibt die Formel (1)

$$e = 4{,}62 - 1{,}32 = 3{,}30.$$

Dieser Spannkraft entspricht in der Tabelle die Temperatur 5°,75, so daß zwischen dem aus der Psychrometerbeobachtung abgeleiteten und dem wirklich beobachteten Thaupuncte nur eine Differenz von $\frac{1^\circ}{10}$ sich darstellt. Der Feuchtigkeitsgrad der Luft war demgemäß zur Zeit der Beobachtung $\frac{33400}{628} = 53$. Das Gewicht des Wasserdunstes in einem Wiener Kub. Fuß war (nach 263)

$$= \frac{0{,}62 \times 3{,}3 \times 564}{346{,}2\ (1 + 0{,}00365 \times 16{,}2)} = \frac{1153{,}9}{366{,}7} = 3{,}15 \text{ W. Gran.}$$

Das Psychrometer entspricht in Hinsicht auf Bequemlichkeit des Gebrauches und Verläßlichkeit seiner Angaben allen Forderungen, die man an ein Hygrometer machen kann. Durch den Umstand, daß es die zur Beurtheilung des Feuchtigkeitszustandes der Luft nöthigen Daten, ohne weitere Vorbereitung als die Füllung des Hilfsgefäßes mit etwas Wasser, und wenn dieß einmal geschehen ist, für lange Zeit in jedem Momente auf einen Blick liefert, hat es vor dem Schwefelätherhygrometer einen bedeutenden Vortheil voraus, denn mit diesem ist stets ein Versuch zu machen, mit dessen Handgriffen man vertraut seyn und dessen Ergebniß man mit Schnelligkeit aufzufassen wissen muß, wozu Uebung gehört, die nicht Jedermanns Sache ist. Zur genauen Feuchtigkeitsbestimmung wird zwar nebst der Psychrometerangabe noch die Kenntniß des Barometerstandes erfordert; für den gewöhnlichen Gebrauch darf man jedoch diese bei Seite setzen und sich mit der Annahme des mittleren Barometerstandes begnügen, und kann dem ungeachtet der Wahrheit befriedigend nahe Resultate erwarten. Setzt man für Wien den Barometerstand 340 Lin., so erhält man für das befeuchtete Thermohygrometer

$$e = M - 0{,}27\,d,$$

und wenn dessen Kugel mit Eis überzogen ist,

$$e = M - 0{,}22\,d.$$

269. Die Hygrometer der zweiten Gattung gründen sich auf die Bestimmung der Gewichtszunahme eines den Wasserdunst in einem gegebenen Raume vollständig absorbirenden Körpers; sie geben bei sorgfältigem Verfahren genaue Resultate, sind aber in den meisten Fällen zu umständlich.

Die geeignetste Substanz zu diesem Zwecke scheint Schwefelsäure zu seyn (Brunner in Pogg. Ann. 20, 274). Man verwendet sie auf ähnliche

Art, wie den Phosphor in dem Brunner'schen Eudiometer (87). Auch Chlorcalcium läßt sich gebrauchen; minder anwendbar sind Körper, an die sich Feuchtigkeit bloß absetzt, selbst wenn dieß geschieht, ehe sie bis zum Thaupuncte abgekühlt worden, z. B. Glas, Thonschiefer, weil die Ablagerung des atm. Wassers doch nicht vollständig erfolgt.

270. Die Möglichkeit eines Hygrometers der dritten Gattung setzt voraus, daß uns Körper zu Gebote stehen, welche durch die absorbirten Dünste eine dem Feuchtigkeitsgrade der Luft entsprechende Veränderung der Gestalt erleiden. Man hat zwar bis jetzt eine große Anzahl von Substanzen, die durch Aenderungen des Feuchtigkeitszustandes der Luft afficirt werden, und deßhalb hygroskopische Substanzen heißen, in Anwendung zu bringen gesucht; allein aller Empfehlungen ungeachtet, und obgleich sich mehrere derselben durch eine in der That merkwürdige Empfindlichkeit für sehr geringe Aenderungen der Luftfeuchtigkeit auszeichnen, ist es noch nicht gelungen, mit einer derselben ein Instrument zu Stande zu bringen, das in Hinsicht auf Bequemlichkeit und Verläßlichkeit der Indication dem Psychrometer nur einigermaßen vergleichbar wäre. Denn nicht bloß zwei gleichartige, d. h. auf dieselbe hygroskopische Substanz basirte Instrumente stimmen in ihren Angaben nicht überein, sondern auch die Anzeigen eines und desselben Exemplars bleiben nicht constant, sondern ändern sich mit der Zeit, so daß es unter ganz gleichen Umständen einen verschiedenen Stand ausweiset, und daher eine einmal gemachte Wahrnehmung sich nicht mit Sicherheit wieder erkennen läßt. Diese Mängel sind erst, seitdem man an dem Schwefelätherhygrometer und Psychrometer verläßliche hygrometrische Apparate besitzt, recht in das Licht getreten, und rauben selbst den am meisten in Ansehen gewesenen früheren Hygrometern fast allen wissenschaftlichen Werth, des Umstandes nicht zu gedenken, daß die Indicationen solcher Instrumente nicht so eingeleitet werden können, daß sie als Feuchtigkeitsgrade in dem oben aufgestellten Sinne erscheinen, oder damit in einem erkennbaren Zusammenhange stehen.

Als vorzügliche hygroskopische Substanzen sind zu betrachten: Haare, Fischbein, Knochen, Federkiele, die innere Haut des Schilfrohres; Blasen von Ratten, Eichhörnchen, Fischen; Darmsaiten, Hanffäden; Grannen vom Rauhhaber, von Erodiumarten und von andern Samen; Holz, Papier u. dgl. Unter den Hygrometern dieser Art hat das Haarhygrometer die meiste Berühmtheit erlangt, vornehmlich wegen dem musterhaften Fleiße, den Saussure auf das Studium dieses Instrumentes verwendete. Es besteht aus einem durch Kochen in schwacher Natrumlauge, Abwaschen mit reinem Wasser und Abtrocknen zubereiteten Haare vom Kopfe eines lebenden gesunden Menschen, das an einem Ende unbeweglich in eine Zange befestigt, am andern Ende aber an dem Umfange einer frei um ihre Axe beweglichen Rolle herumgelegt ist und durch ein Gewichtchen gespannt erhalten wird, so daß sich die Rolle, wenn das Haar, wie es bei Zunahme der Feuchtigkeit der Luft geschieht, sich verlängert, und wenn es in mehr trockener Luft sich verkürzt, in entgegengesetztem Sinne gedreht wird. Da die Aenderung der Länge des Haares bei verändertem Feuchtigkeitszustande der Luft immer nur sehr gering ist, so macht man sie dadurch merklicher, daß

man an der Rolle einen Zeiger anbringt, der über einem Kreisbogen spielt und auf demselben bei der kleinsten Längenänderung des Haares um ein Merkliches weiter rückt (Fig. 108). Dieser Bogen enthält die Hygrometerscale, deren äußerste Puncte dem Stande des Zeigers bei der größten Trockenheit und Feuchtigkeit entsprechen. Um den Punct der größten Feuchtigkeit zu bestimmen, wird der Apparat in einen, inwendig mit Wasser befeuchteten und auch mit Wasser gesperrten Glasrecipienten gebracht und so lange darin gelassen, bis sich das Haar nicht mehr verlängert. Zur Bestimmung des Punctes der größten Trockenheit wird er in eine gut abgetrocknete Glasglocke gebracht, nahe an ihm ein heißes, cylindrisch gebogenes, mit geglühter Pottasche überzogenes Eisenblech gestellt, alles luftdicht gesperrt und in diesem Raume so lange gelassen, bis sich das Haar selbst dann nicht mehr verkürzt, wenn man die Temperatur erhöht. Der Punct der größten Trockenheit wird mit 0, jener der größten Feuchtigkeit mit 100 bezeichnet, und der Zwischenraum in 100 gleiche Theile getheilt. Allein die so erhaltenen Grade sind, wie Vergleichungen mit beiden im Vorhergehenden angegebenen guten Hygrometern gelehrt haben, keine Feuchtigkeitsgrade, stehen auch zu diesen, weil jedes Haar sich anders gegen Feuchtigkeit verhält, in keiner für alle Instrumente gleichen Beziehung, ja nicht einmal die Voraussetzung, daß dasselbe Instrument unter gleichen Umständen eine gleiche Haarlänge, folglich denselben Grad darbiete, ist für einen längeren Zeitraum richtig. Es stirbt nämlich ein Haar wie jede andere organische Substanz mit der Zeit ab, wird für den Wasserdunst immer unempfindlicher, die beiden Fundamentalpuncte rücken einander fortwährend näher, und fallen zuletzt zusammen. Daß man die Haare einer tausendjährigen Mumie noch empfindlich und zum hygrometrischen Gebrauche geeignet gefunden hat, beweiset nicht, daß ausgelaugte und im hygrometrischen Gebrauche befindliche Haare unverändert ausdauern, worauf es doch allein ankommt; nicht ausgelaugte, d. h. mit Fett noch versehene Haare sind aber, wie von selbst erhellet, zu Hygrometern durchaus nicht verwendbar.

Nebst dem so eben beschriebenen Hygrometer hat auch noch das Deluc'sche wenigstens einen historischen Werth. Es ist dem Saussure'schen im Baue ähnlich, nur ist es kleiner und hat statt des Haares einen dünnen Streifen quer über die Fasern geschnittenen Fischbeines. Der Punct der größten Trockenheit wird wie beim Haarhygrometer bestimmt, der Punct der größten Feuchtigkeit hingegen durch Einsenken des ganzes Fischbeines in Wasser. Die Scale wird wie in Saussure's Hygrometer eingetheilt und bezeichnet. Sehr wenig Empfehlendes läßt sich von dem schon im siebzehnten Jahrhunderte von Molineux beschriebenen Darmsaitenhygrometer sagen, womit sich später Sturm und Lambert beschäftigt haben; ein Gleiches gilt von den thermometerähnlichen Vorrichtungen, in welchen der Behälter für das Quecksilber durch einen Federkiel (Chiminello's Hygrometer) oder durch eine Rattenblase (Wilson's Hygrometer) gebildet wird. Sehr artige hygroskopische Erscheinungen gewährt, ihrer Empfindlichkeit wegen, die Granne der Samenhülle des gemeinen wildwachsenden Erodium cicutarium (Reiherschnabel). Ueber Hygrometer siehe: Lambert's Hygrometrie. Augsb. 1774. Saussure's Hygrometrie; aus dem Französischen. Leipzig, 1784. *Enumeratio atque descriptio hygrometrorum etc. auctore G. Hopf. Gottingae* 1830. Gehler's Wörterbuch, neue Aufl. 5. Bd. 1. Abth. Artikel Hygrometer.

Dritter Abschnitt.
Bewegung der Körper (Dynamik).

Erstes Kapitel.
Allgemeine Bewegungsgesetze, die der festen Körper insbesondere.

A. Zusammensetzung und Zerlegung der Bewegungen.

271. Es beschreibe ein sich bewegender Punct die Bahn AN Fig. 109, von welcher wir hier, um einen einfacheren Fall vor Augen zu haben, voraussetzen, daß sämmtliche Puncte derselben in die nämliche Ebene fallen. Nimmt man in dieser Ebene nach Belieben zwei einander durchschneidende gerade Linien Ox, Oy an, so kann man in der Bewegung des Punctes ein Fortrücken parallel mit Ox und ein Fortrücken parallel mit Oy unterscheiden. Zieht man nämlich AB, NC parallel zu Ox und AC, NB parallel zu Oy, so zeigt CN oder AB die Größe der mit Ox parallelen Ortsveränderung an, welche in der Bewegung des Punctes von A nach N enthalten ist, und eben so BN oder AC die gleichzeitig Statt findende Veränderung der Lage des Beweglichen parallel zu Oy. Da nun diese beiden Veränderungen die Bewegung von A nach N vollständig erschöpfen, so sagt man, diese Bewegung sey aus den zwei geradlinigen Bewegungen, wobei die Wege AB und AC beschrieben werden, zusammengesetzt, und nennt letztere die Componenten der ersteren. Aehnliches läßt sich von dem Falle sagen, wenn nicht alle Puncte der Bahn AN in einerlei Ebene enthalten sind, nur muß man dann, um die Bewegung vollständig zu erschöpfen, drei nicht in derselben Ebene liegende Geraden annehmen, nach deren Richtungen man die Verschiebung des Beweglichen beurtheilt, woraus drei Componenten seiner Bewegung erwachsen.

272. Sind AB, AC, Fig. 110, die Wege, welche bei zwei in einerlei Ebene vor sich gehenden, geradlinigen Bewegungen gleichzeitig zu beschreiben sind, und handelt es sich um die aus der Zusammensetzung dieser Bewegungen entspringende Resultirende, so kann man der Natur der Sache gemäß behaupten, daß das Bewegliche, in so fern es beiden vorgenannten Bewegungen zugleich Genüge leisten soll, am Ende derselben Zeit, binnen welcher die gegebenen componirenden Bewegungen erfolgen, sich in dem Eckpuncte D des mit den

Seiten AB, AC verzeichneten Parallelogramms ABDC, oder was dasselbe heißt, in dem Endpuncte der Diagonale AD dieses Parallelogrammes befinden müsse; denn nur auf diese Weise ist es möglich, daß das Bewegliche parallel der AB, um ein ihr gleiches Stück CD, und eben so parallel der AC um ein ihr gleiches Stück BD verschoben erscheine. Allein daraus folgt noch keineswegs, daß das Bewegliche hiebei die Diagonale des Parallelogrammes der Componenten auch durchlaufe, sondern es kann jeden anderen Weg von A zu D nehmen. Die Gestalt dieses Weges hängt von dem Gesetze ab, nach welchem die componirenden Bewegungen vor sich gehen sollen. Befände sich das Bewegliche, wenn es der Bewegung AB allein gehorchte, in einem gewissen Augenblicke in dem Puncte H, und wenn es der Bewegung AC allein Folge leistete, in demselben Augenblicke in K, so wird es durch Zusammensetzung beider Bewegungen in dem genannten Augenblicke in dem Durchschnittspuncte M der zu AB und AC parallelen KM und HM ankommen. Damit der Punct M in AD enthalten sey, muß die Proportion AH : AB = HM : BD, oder was dasselbe ist, die Proportion AH : AB = AK : AC bestehen. Wird dieselbe in jedem Augenblicke, d. h. für alle correspondirenden Lagen der Puncte H, K auf AB, AC erfüllt, so befindet sich das Bewegliche in jedem Augenblicke in der Geraden AD, mithin durchläuft es diese Gerade. Solches ist z. B. der Fall, wenn die beiden Componenten gleichförmige Bewegungen sind. Denn bei diesen verhalten sich die Wege wie die Zeiten, binnen welchen sie zurückgelegt werden, und daher sind die Verhältnisse AH : AB und AK : AC stets gleich. Es lassen sich aber auch unzählige andere, ungleichförmige Bewegungen denken, bei denen erwähnte Bedingung realisirt ist, aus deren Zusammensetzung daher ebenfalls eine geradlinige Resultirende hervorgeht.

273. Wird ein Bewegliches von zwei momentanen Kräften P, Q getrieben, die nach den Richtungen Ax, Ay (Fig. 110) wirken, und sind AB, AC die Wege, die es binnen einer und derselben Zeit gleichförmig durchlaufen würde, wenn es diesen Kräften einzeln gehorchen könnte, so bewegt es sich nach der Richtung der Diagonale AD des Parallelogrammes ABDC gleichförmig, und beschreibt während der genannten Zeit den Weg AD. Denn es muß das Bewegliche sich gerade so benehmen, als ob es von einer einzigen Kraft R, nämlich von der Resultirenden der Kräfte P, Q getrieben würde (112). Aber es verhalten sich die gleichzeitigen Wege AB, AC wie die Geschwindigkeiten, welche die Kräfte P, Q einer und derselben Masse ertheilen (27), mithin wie diese Kräfte selbst (28); letztere können daher durch AB, AC vorgestellt werden, und ihre Resultirende hat dem zu Folge die Richtung der Diagonale AD des Kräftenparallelogramms ABDC, und ist dieser Diagonale proportional (121). Daher geräth das Bewegliche, in Folge der Action der Kraft R, in gleichförmige Bewegung, wobei es binnen der gedachten Zeit den Weg AD zurücklegt.

Man sieht hieraus, daß die Bewegung, welche einem materiellen Puncte durch die gleichzeitige Action zweier momentanen, nach ver-

schiedenen Richtungen wirkenden Kräfte zu Theil wird, zugleich diejenige Bewegung ist, die aus der Zusammensetzung der Bewegungen entsteht, welche die componirenden Kräfte jede für sich allein hervorgebracht hätten, und daß sich dem gemäß Geschwindigkeiten so wie Kräfte zusammensetzen und zerlegen lassen.

Diese Folgerung scheint dergestalt natürlich, daß selbe von Vielen als ein gar keines Beweises bedürfender Satz, als ein Princip betrachtet wird, das man der Entwicklung der Theorie der bewegenden Kräfte ohne Bedenken an die Spitze stellen darf. Allerdings muß jede wissenschaftliche Forschung von gewissen obersten Sätzen ausgehen, die geradezu angenommen werden, und nicht aus anderen Sätzen ableitbar sind. Allein es ist einem streng wissenschaftlichen Gange nicht angemessen, einen Satz ohne Beweis gelten zu lassen, der aus den Sätzen, zu deren Annahme man genöthiget war, durch Schlüsse abgeleitet werden kann, wie klar er auch für sich selbst erscheinen mag. Deßhalb wurde hier der Beweis des in der Rede stehenden Satzes geführt. Will man jedoch denselben als ein nothwendiges Ergebniß des Principes ansehen, daß in der Wirkung nicht mehr und nicht weniger erscheinen könne, als in den Ursachen liegt, so läßt sich der Satz vom Kräftenparallelogramm daraus durch Umkehrung des oben befolgten Ganges auf eine sehr einfache Weise deduciren, ja es ist die Zusammensetzung der Kräfte in der That auf diese Weise entdeckt worden.

B. Bewegungen durch die Schwerkraft.

274. Zu den Bewegungen, welche durch die Schwere hervorgebracht werden, gehören: der freie Fall der Körper, die Wurfbewegung, das Herabgleiten über eine schiefe Ebene, wie auch über eine krumme Fläche, und die Bewegung der Pendel. Mit diesen haben wir uns hier zu beschäftigen.

275. Obgleich die Schwere in einerlei Verticalrichtung von oben nach unten hin bis zur Erdfläche zunimmt, so zeigen sich doch die Aenderungen derselben in Distanzen, die gegen den Halbmesser der Erde sehr klein sind, als unbedeutend, und dürfen bei der Betrachtung des freien Falles der Körper von geringen Höhen herab bei Seite gesetzt werden. Sonach erscheint der freie Fall im leeren Raume als Resultat der Wirkung einer beständigen continuirlichen Kraft (32), mithin als eine gleichförmig beschleunigte Bewegung. Die Größen, welche hiebei in Vergleichung kommen, sind: die Dauer der Bewegung, die während derselben erlangte Geschwindigkeit, und der zurückgelegte Weg. Die Beziehung zwischen den ersten zwei Größen ist eine einfache Folge des Begriffes der gleichförmig beschleunigten Bewegung. Bezeichnet nämlich t die Zeit, c die binnen derselben erlangte Geschwindigkeit, und g die Acceleration, d. h. die Geschwindigkeit, welche binnen der Zeiteinheit erzeugt wird, so ist $c : g = t : 1$ mithin

$$c = gt \ldots. (1).$$

276. Um nun noch einen Ausdruck für den binnen der Zeit t zurückgelegten Weg s zu finden, in so fern das Bewegliche lediglich durch die beschleunigende Kraft in Bewegung versetzt worden ist, theile man die Zeit t in eine gewisse Anzahl n gleicher Theile, deren jeder τ

heiße, und denke sich vor der Hand die bewegende Kraft stoßweise wirkend, so daß sie am Anfange jedes solchen Zeittheiles dem Beweglichen einen Zusatz $\gamma = \frac{c}{n}$ an Geschwindigkeit beibringt, so ist der Weg, welcher im ersten Zeittheilchen zurückgelegt wird $= \gamma\tau$,

» zweiten » » » $= 2\gamma\tau$,

» dritten » » » $= 3\gamma\tau$,

» n^{ten} » » » $= n\gamma\tau$,

mithin $s = \gamma\tau + 2\gamma\tau + 3\gamma\tau$ ıc. $+ n\gamma\tau = \gamma\tau(1 + 2 + 3$ ıc. $\ldots + n)$

$$= (n+1)\frac{n}{2}\gamma\tau = \frac{n^2\gamma\tau}{2} + \frac{n\gamma\tau}{2} = \frac{n^2\gamma\tau}{2} + \frac{n^2\gamma\tau}{2n}.$$

Aber $n\gamma$ ist gleich der Endgeschwindigkeit c und $n\tau = t$, mithin

$$s = \frac{ct}{2} + \frac{ct}{2n}.$$

In diesem Ausdrucke ist das erste Glied von n unabhängig, das zweite wird desto kleiner, je größer n ist, d. i. je schneller die Wirkungen der beschleunigenden Kraft auf einander folgen. Es nähert sich daher s dem Werthe $\frac{ct}{2}$ in demselben Maße, in welchem sich die beschleunigende Kraft einer ununterbrochen wirksamen, oder in welchem sich die Bewegung einer gleichförmig beschleunigten nähert. Für die beiderseitige Grenze der Annäherung, nämlich für $n = \infty$, ist daher

$$s = \frac{ct}{2} \quad \ldots\ldots \quad (2).$$

Aus 1 und 2 folgt $s = \frac{gt^2}{2} \quad \ldots\ldots \quad (3)$,

und hieraus $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} \quad \ldots\ldots \quad (4)$,

endlich, aus (2) und (4), $c = \sqrt{2gs}$ (5).

Aus der Formel (3) erkennt man, daß bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung: 1) der während der ersten Zeiteinheit zurückgelegte Weg $= \frac{g}{2}$, d. i. die Hälfte der Acceleration ist; 2) die Wege sich verhalten wie die Quadrate der Zeiten; 3) die in auf einander folgenden gleichen Zeiten zurückgelegten Wege wie die ungeraden Zahlen wachsen. Heißt nämlich s' für die Zeit $t - 1$, was s für t bedeutet, so ist $s - s' = \frac{g}{2}(2t - 1)$.

Setzt man hier $t = 1, 2, 3, 4\ldots$ so findet man für $s - s'$ nach einander die Werthe $\frac{g}{2}, \frac{3g}{2}, \frac{5g}{2}, \frac{7g}{2}$ u. s. w.

Da eine gleichförmig beschleunigte Bewegung rückwärts betrachtet, als gleichförmig verzögert erscheint, d. h. als eine solche, bei welcher die Geschwindigkeit in demselben Verhältnisse abnimmt, in welchem die Zeit wächst; so sind in den hier entwickelten Formeln auch die Gesetze dieser Bewegung enthalten.

277. Die Richtigkeit der Voraussetzung, daß dem freien Falle der Körper eine mit constanter Intensität wirkende Kraft zum Grunde gelegt werden darf, beruht auf der Harmonie aller so eben erhaltenen Resultate mit der Erfahrung. Versuche, welche dieses bestätigen, lassen sich wegen der zu bedeutenden Höhe, die dazu erfordert würde, und wegen des Widerstandes der Luft, nicht wohl beim freien Falle machen; aber es gibt eine Vorrichtung, die unter dem Namen der Atwood'schen Fallmaschine bekannt ist, mittelst welcher man die Fallhöhe in einer Secunde beliebig vermindern und aus den Resultaten der Versuche, die sich mit ihr anstellen lassen, doch auf die Gesetze beim freien Falle schließen kann. Diese Vorrichtung besteht in ihrer einfachsten Gestalt aus einem fixen, um seine Axe äußerst leicht beweglichen Rade a (Fig. 111), über dessen Umfang eine feine Schnur b geht, welche am Ende Schälchen zur Aufnahme bestimmter Gewichte hat. Das Rad ist an einer verticalen, in Zolle eingetheilten Säule c befestiget, an der man den Weg, den eine Schale zurücklegt, messen und mit der Zeit der Bewegung vergleichen kann. Man legt auf die Schalen gleiche Gewichte, und dann auf diejenige, deren Bewegung abwärts man in das Auge fassen will, noch ein Gewichtchen, welches eben hinreicht, die Reibung an der Axe des Rades zu überwinden, so daß dieses bei der geringsten Vermehrung des Gewichtes in Bewegung geräth. Gibt man nun noch ein Gewicht zu, so sinkt die Schale, aber mit geringerer Acceleration als wenn sie frei fiele. Denn die auf das Zuleggewicht wirkende Schwerkraft hat jetzt nicht bloß die Masse dieses Gewichtes allein, sondern auch noch die Massen der übrigen Gewichte nebst dem Rade in Bewegung zu setzen. Man kann das Zuleggewicht jederzeit so wählen, daß die sinkende Schale in der ersten Secunde einen bestimmten Weg, z. B. 1 Zoll zurücklegt, dann wird sie am Ende der zweiten Secunde 4 Zoll, am Ende der dritten 9 Zoll u. s. w. zurückgelegt haben. Läßt man aber die Schale ihr Zuleggewicht während des Sinkens an einem Ringe, durch den sie geht, absetzen, zu welchem Ende man dieses Gewicht in länglicher Form nimmt, damit es auf dem Ringe liegen bleibe, so geräth die Schale von dem Augenblicke an in eine gleichförmige Bewegung, woran sich die Geschwindigkeit, die sie bis dahin erlangt hat, zu erkennen gibt.

Ist M die Gesammtmasse des Rades, der Schnur, der Schalen, ihrer gleichen Belastung und des Zuleggewichtes zur Ueberwindung der Reibung; x die Masse des Zuleggewichtes, das die Bewegung hervorbringt; ferner g die Beschleunigung der Schwere im freien Falle, und g' jene an der Fallmaschine: so besteht, weil die bewegende Kraft gx der Masse $M + x$ die Acceleration g', d. h. die bewegende Kraft $(M + x)g'$ ertheilt, die Gleichung $gx = (M + x)g'$ woraus $(g - g')x = Mg'$ und $x = \frac{Mg'}{g - g'}$ folgt. Statt M kann man auch das Gesammtgewicht der genannten Massen setzen, und erhält dann x in Gewicht ausgedrückt, denn die Gewichte sind ja den Massen proportionirt.

Wollte man, daß jede Schale in der ersten Secunde statt $15\frac{1}{2}$ Fuß oder 186 Zoll, wie es bei dem freien Falle im luftleeren Raume in Wien,

wo $g = 31{,}03$ Fuß beträgt, geschehen würde, an der Fallmaschine nur 1 Zoll zurücklege, so setze man $\frac{1}{2}g = 186$, $\frac{1}{2}g' = 1$ und man findet $x = \frac{M}{185}$.

Wegen der drehenden Bewegung des Rades ist diese Rechnung nur eine angenäherte, eigentlich sollte man nur die halbe Masse des Rades in Rechnung bringen.

278. Bekommt ein schwerer Körper durch eine momentan wirkende Kraft einen Stoß vertical aufwärts oder abwärts, und dadurch eine Geschwindigkeit $= h$; so wird für den in der Zeit t zurückgelegten Weg s und die in derselben Zeit erlangte Geschwindigkeit c

$$s = ht \pm \frac{gt^2}{2};\ c = h \pm gt,$$

wo das Zeichen + gilt, wenn der Stoß abwärts, hingegen, — wenn er aufwärts wirkt. Es ist klar, daß ein Körper im letzteren Falle so lange steigt, bis seine Geschwindigkeit $= 0$ ist. Heißt t' die Zeit, welche er bis dahin braucht, s' der zurückgelegte Weg, so ist

$$h - gt' = 0 \text{ oder } \frac{h}{g} = t' \text{ und } s = ht' - \frac{gt'^2}{2} = \frac{h^2}{2g}.$$

279. Wird ein schwerer Körper horizontal geworfen, so beschreibt er eine Parabel, deren Axe vertical steht. Denn wenn er vermöge der Wurfkraft in irgend einer beliebigen Zeit den Weg AB (Fig. 112), und in zwei solchen Zeiten den Weg AC, in drei Zeiten den Weg AD ꝛc. zurücklegen würde, falls ihn die Schwere nicht abwärts zöge, hingegen durch bloße Wirkung der Schwere in der ersten Zeit den Weg AE, in zwei Zeittheilen den Weg AF, in drei den Weg AG ꝛc.; so muß er sich durch die gleichzeitige Wirkung beider Kräfte nach Verlauf der ersten Zeiteinheit vertical unter B in H, nach Verlauf der zweiten vertical unter C in I, nach Verlauf der dritten unter D in K u. s. w. befinden, so daß $BH = AE$, $CI = AF$, $DK = AG$ ist u. s. w.; mithin den Weg AHIK zurücklegen. Es ist aber

$EH : FI : GK : \text{ꝛc.} = 1 : 2 : 3 : \text{ꝛc.}$, und daher
$EH^2 : FI^2 : GK^2 : \text{ꝛc.} = 1 : 4 : 9 : \text{ꝛc.}$; ferner
$AE : AF : AG : \text{ꝛc.} = 1 : 4 : 9 : \text{ꝛc.}$; mithin
$EH^2 : FI^2 : GK^2 : \text{ꝛc.} = AE : AF : AG : \text{ꝛc.}$

eine Eigenschaft, die nur einer Parabel zukommt, welche AG zur Axe hat.

280. Wird ein Körper schief gegen den Horizont geworfen, so daß die Richtung Ax (Fig. 113) des Wurfes mit einer Horizontallinie Ay, die mit Ax in derselben Verticalebene liegt, einen spitzen Winkel xAy, die sogenannte Elevation des Wurfes, bildet, und ist $c = AB$ die dem Körper nach der Richtung Ax ertheilte Geschwindigkeit; so läßt sich diese in eine horizontale $h = AC$ und in eine verticale $v = AD$ zerlegen. Vermöge der ersten schreitet der Körper parallel mit Ay gleichförmig fort; letztere wird durch die Schwere bekämpft, daher nimmt der Körper parallel mit der verticalen Az eine gleichförmig verzögerte Bewegung an: indem er diesen beiden Bewegungen Folge leistet, beschreibt er eine Bahn AO, deren höchsten Punct O er in dem Augen-

blicke erreicht, in welchem der verticale Theil v seiner anfänglichen Geschwindigkeit durch den Einfluß der Schwere ganz vernichtet worden ist, so daß ihm dort nur mehr der horizontale Theil h dieser Geschwindigkeit zukommt. Da er sich in O in demselben Zustande befindet, als würde er horizontal, nämlich nach O u mit der Geschwindigkeit h geworfen, so beschreibt er den absteigenden Ast O E einer Parabel, deren Axe die durch O gehende Verticallinie O K ist (279). Aber offenbar stimmt der aufsteigende Ast A O der Bahn mit O E überein, weil die Schwere den verticalen Theil der Bewegung des Körpers auf dieselbe Weise abwärts beschleunigt, wie sie denselben aufwärts verzögert hat, weßwegen die verticale Componente der Geschwindigkeit in gleichen Abständen von der O K einerlei Größe und nur entgegengesetzte Richtungen besitzt. Es ist also auch hier die Bahn des geworfenen Körpers eine Parabel mit verticaler Axe. Die Entfernung des Durchschnittspunctes E der Bahn mit dem Horizonte von A, nämlich A E, heißt die Wurfweite. Nennt man die Zeit, während welcher der Körper von A bis E geht, 2 T, so ist offenbar $AE = 2hT$ (27). Aber es ist $v = gT$, also $T = \frac{v}{g}$; daher $AE = \frac{2hv}{g}$. Das Product h v drückt die Oberfläche des Rechteckes A C B D aus, welche das Doppelte des Dreieckes A D B ist, mithin wenn man $DL = p$ senkrecht auf A B zieht, durch das Product $AB \, . \, DL = cp$ gemessen wird; es ist demnach $hv = cp$, also die Wurfweite $AE = \frac{2cp}{g}$. Diese erhält, bei einerlei Größe der Wurfgeschwindigkeit c, den größten Werth, wenn p am größten ausfällt. Weil die Peripherie eines über A B als Durchmesser verzeichneten Halbkreises stets durch D geht, so sieht man, daß der größte Werth, dessen p fähig ist, dann Statt findet, wenn D in die Mitte des Halbkreises A D B fällt, d. h. $p = \frac{1}{2}c$ wird. Damit dieß geschehe, muß $AD = DB$, also der Winkel $DBA = xAy = 45^\circ$ seyn. Dann wird $AE = \frac{c^2}{g}$. Für zwei Elevationen des Wurfes, welche einander zu 90° ergänzen, werden bloß die Werthe von h und v verwechselt; diesen Elevationen entsprechen also gleiche Wurfweiten. Auch sieht man leicht, daß wenn $xAy = 15^\circ$ oder $= 75^\circ$ ist, $p = \frac{1}{4}c$ wird; folglich $AE = \frac{c^2}{2g}$ sich auf die Hälfte der größten Wurfweite reducirt.

Die Gesetze des Wurfes wurden zuerst von Galiläi entwickelt.

281. Betrachtet man einen schweren Körper auf einer schiefen Ebene, so findet man, daß er auch durch eine beständige und continuirlich wirkende Kraft abwärts getrieben wird, und daher eine gleichförmig beschleunigte Bewegung annehmen muß, wenn von allen Hindernissen der Bewegung abgesehen wird, und die Höhe der schiefen Ebene nicht so groß ist, daß die Schwere oben merklich schwächer wirkt als unten. Stellt z. B. A C (Fig. 114) den Durchschnitt einer schiefen Ebene mit einer auf ihr senkrecht stehenden, verticalen Ebene

vor, ist AB ihre Höhe, AC ihre Länge, BC ihre Basis, ACB = a ihr Erhöhungswinkel, und endlich G der Schwerpunct eines Körpers, Gx die Richtung der Schwere, GD ihre Größe = g; so kann man GD in die auf AC senkrechte GE und in die mit ihr parallele GF zerlegen, wovon erstere durch den Widerstand der schiefen Ebene aufgehoben wird, während die letztere eine Bewegung längs derselben hervorbringt, und relative Schwere heißt. Da Gx auf BC, und FD auf AC senkrecht steht; so ist FDG = ACB = a und daher GF = GD. *sin* a = g . *sin* a, also eine Kraft, die für einerlei Werth von a beständig ist, wenn g unverändert bleibt.

Mittelst der schiefen Ebene hat am Anfange des 17. Jahrhunderts Galiläi zuerst die Gesetze des Falls schwerer Körper in der Erfahrung dargethan.

282. Setzt man in den Formeln für die gleichförmig beschleunigte Bewegung g *sin* a statt g, und versteht unter g den doppelten Fallraum in der ersten Secunde beim freien Falle; so gelten die so entstehenden Formeln für den Fall über eine schiefe Ebene. Man hat deßhalb, wenn s', t', c' dasselbe für die schiefe Ebene sind, was s, t, c für den freien Fall bedeuten:

$$c' = g t' . \sin a \quad . \quad (1), \qquad s' = \frac{g t'^2 . \sin a}{2} \quad (2)$$

$$t' = \sqrt{\frac{2 s'}{g . \sin a}} \quad . \quad (3). \qquad c' = \sqrt{2 g s' . \sin a} \quad (4).$$

283. Wenn ein Körper auf der schiefen Ebene (Fig. 115) von A bis D gekommen ist, und die Frage entsteht, wie weit er in derselben Zeit im freien Falle gekommen wäre; so errichte man im Puncte D auf AC die senkrechte DE, und man hat AE als den in Frage stehenden Fallraum. Denn setzt man ACB = a und nennt x den gesuchten Weg; so wird

$$AD = \frac{g t^2}{2} . \sin a \text{ und } x = \frac{g t^2}{2}, \text{ d. h. } AD = x . \sin a \text{ oder } \frac{AD}{\sin a} = x.$$

Aber wegen EAD = BAC und ADE = ABC ist auch AED = a, und daher $\frac{AD}{\sin a} = AE$, mithin x = AE.

284. Wendet man diesen Satz auf den verticalen Durchmesser AB (Fig. 116) eines Kreises und dessen Sehnen AC oder BC an; so findet man, daß AB, AC und CB gleichzeitige Wege sind. Daß dieses von AB und AC gilt, zeigt schon der rechte Winkel bei C, aber um es auch für AB und CB einzusehen, ziehe man BD senkrecht auf CB, ferner CD vertical, und es sind CB und CD gleichzeitige Wege. Da aber CD = AB, so müssen auch AB und CB gleichzeitige Wege seyn. Es ist klar, daß alle von A und B aus gezogenen Sehnen unter einander gleichzeitig seyn werden, weil jede einzelne mit AB gleichzeitig ist. Da durch Drehung des Kreises um einen Durchmesser eine Kugel beschrieben wird; so sieht man, daß alle Sehnen, welche vom höchsten Puncte einer Kugel ausgehen oder im tiefsten Puncte derselben zusammentreffen, gleichzeitige Wege sind.

285. Ein Körper erlangt dieselbe Geschwindigkeit, er mag die Länge AC (Fig. 115) einer schiefen Ebene, oder ihre Höhe AB zurückgelegt haben; denn es ist

$$c = \sqrt{2g \, . \, AB}, \quad c' = \sqrt{2g \, . \, AC \, . \, \sin a},$$

aber $AC \, . \, \sin a = AB$, mithin $c = c'$. Eine Folge dieses Satzes ist, daß ein Körper beim Fall durch zwei schiefe Ebenen von verschiedenen Neigungswinkeln aber gleichen Höhen, wie z. B. durch AB und AC (Fig. 117) eine gleiche Geschwindigkeit erlangt.

286. Sind AB und BC (Fig. 118) zwei schiefe Ebenen, die unter dem Winkel ABC zusammenstoßen, so erleidet ein Körper, der sich darauf bewegt, in B einen Verlust an Geschwindigkeit; denn er sucht mit der Geschwindigkeit, mit der er in B anlangt, nach BE fortzugehen, wird aber von dieser Richtung in B durch die Bahn BC abgelenkt. Ist BE die Geschwindigkeit, mit der er in B seine Bewegung fortzusetzen strebt, so zerlege man sie in die auf BC senkrechte BH und in die mit ihr parallele BF, und man sieht leicht ein, daß erstere durch den Widerstand von BC aufgehoben wird, und nur mit letzterer der Körper über BC hinabgleitet. Errichtet man EI auf BE senkrecht, so ist $BE < BI$, mithin der Verlust an Geschwindigkeit, nämlich $BE - BF$, kleiner als $BI - BF$ oder FI. Aber die Proportion $FI : EI = EI : BI$ gibt $FI = \frac{EI^2}{BI}$ und dieser Ausdruck ist wieder kleiner als $\frac{EI^2}{BE}$, daher $BE - BF < \frac{EI^2}{BE}$.

Denkt man sich nun AB und BC als Sehnen einer stetig krummen Linie, und läßt man dieselben unendlich klein werden, wodurch auch der Winkel EBC und mit ihm EI unendlich klein wird, während BE einerlei Größe behält; so sieht man, daß der Verlust an Geschwindigkeit in B kleiner ausfallt, als die zweite Potenz einer Größe, die selbst unendlich abnimmt, folglich unendliche Male wiederholt nur einen unendlich kleinen Totaleffekt herbeiführt. Hieraus ergibt sich die Folge, daß wenn ein Körper über eine stetig krumme Bahn AL (Fig. 117) vermöge seiner Schwere herabgleitet, er in L mit derselben Geschwindigkeit anlangt, welche er im freien Falle von A bis zum Puncte M, der vertical unter A in der durch L gehenden Horizontalebene liegt, bekommen hätte.

287. Bisher wurden die Fälle betrachtet, wo sich ein Körper auf einer Unterlage von bestimmter Form bewegt, durch welche ihm der Weg vorgeschrieben ist, den er zu nehmen hat. Aber die Gesetze der Bewegung, die ein Körper in diesen Fällen befolgen muß, gelten auch, wenn man ihn auf eine andere Weise, z. B. durch ein von oben angebrachtes Hinderniß, an einen solchen Weg bindet. So muß sich ein Körper, der an einem Faden aufgehängt ist, um den Aufhängepunct nach denselben Gesetzen bewegen, als wenn er sich in einer kreisförmigen Rinne befände. Ein Körper, der um eine nicht durch den Schwerpunct gehende und nicht verticale Axe bewegt werden kann, heißt über-

haupt ein Pendel, und zwar ein physisches oder zusammengesetztes. Denkt man sich einen schweren Punct B (Fig. 119) an einer nicht schweren, ja selbst nicht einmal trägen geraden Linie AB, die um A gedreht werden kann; so hat man einen Begriff von einem mathematischen oder einfachen Pendel. Man kann aber auch eine kleine Kugel an einem feinen Faden, dessen Länge den Durchmesser der Kugel bedeutend übertrifft, ohne großen Fehler als einfaches Pendel ansehen.

288. Wird das einfache Pendel AB aus seiner verticalen Lage AB nach AC gebracht, und da sich selbst überlassen; so wird es durch die Schwere nach B hingetrieben, und beschreibt den mit AB in derselben verticalen Ebene liegenden Bogen CB. Um die Kraft zu finden, welche in jedem Augenblicke auf den schweren Punct wirkt, sey Cx die Richtung der Schwerkraft, $CE = g$ ihre Beschleunigung, a der Erhöhungs- oder Elongationswinkel CAB, und man zerlege CE in die auf AC senkrechte CF, und die mit ihr parallele CD; so wird letztere durch den Widerstand der Linie CA aufgehoben, und zur Bewegung des Pendels bleibt nur mehr $CF = CE \,.\, \sin CEF = g \,.\, \sin a$, weil $CEF = ECD = CAB = a$ ist. Da diese Kraft für einerlei Werth von g vom $\sin a$ abhängt, der immer kleiner wird, so wie sich das Pendel der Verticalen AB nähert; so ist die Bewegung von C bis B eine ungleichförmig beschleunigte. In B hat das Pendel die größte Geschwindigkeit, es muß sich daher vermög der Trägheit weiter bewegen, und zwar wegen des Widerstandes der Linie AB im Bogen BH, und mit ungleichförmig verzögerter Bewegung, weil die entgegen wirkende Schwere jetzt die Geschwindigkeit wieder in umgekehrter Ordnung so vermindert, wie sie selbe bei dem Herabgehen des Pendelpunctes durch den Bogen CB vermehrt hat, weßwegen auch offenbar $BH = CB$ seyn muß. In H tritt wieder derselbe Fall ein, welcher in C Statt hatte, das Pendel steigt nach B herab, erhebt sich wieder nach C, und würde so seine Schwingungen ohne Unterlaß fortsetzen, wenn keine Hindernisse diese Bewegung störten.

289. Die Bewegung vom höchsten Puncte der Bahn C (Fig. 119) bis zum höchsten Puncte H an der anderen Seite der Verticalen heißt eine Schwingung. Die Zeit T, in der eine solche vollbracht wird, läßt sich, unter der Voraussetzung, daß der Ausschlagwinkel BAC, Fig. 120, sehr klein ist, aus der gegebenen Länge $AB = l$ des Pendels, auf folgende Weise finden: In der Lage AM des Pendels hat der schwere Punct desselben eine Geschwindigkeit erlangt, welche derjenigen gleich ist, die er im freien Falle von D bis P erhalten hätte, deren Werth daher durch $\sqrt{2g \,.\, DP}$ ausgedrückt wird. Mit dieser beschreibt er ein nächstes unendlich kleines Stückchen Mm seiner Bahn während der Zeit $\tau = \frac{Mm}{\sqrt{2g \,.\, DP}}$. Zieht man mp zu den auf AB senkrechten CD, MP parallel, und mn auf MP senkrecht, so ist wegen der Aehnlich-

keit der Dreiecke Mmn, AMP

$$Mm : mn \text{ (oder } Pp) = AM : MP \text{ mithin } Mm = \frac{l \cdot Pp}{MP}.$$

Weil aber auch, einer bekannten Eigenschaft des Kreises zu Folge, $MP^2 = BP(2l - BP)$ ist, wofür man annäherungsweise, indem wegen der Kleinheit des Winkels BAC, das Stück BD, also um so mehr BP gegen l sehr klein ist, $MP^2 = 2l \cdot BP$ setzen darf, so hat man

$$\tau = \frac{l \cdot Pp}{\sqrt{2g \cdot 2l \cdot DP \cdot BP}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{Pp}{\sqrt{DP \cdot BP}}.$$

Beschreibt man über BD als Durchmesser einen Halbkreis, der MP und mp in K und k schneidet, so zeigt sich

$$KP = \sqrt{DP \cdot BP} \text{ mithin } \tau = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{Pp}{KP}.$$

Zieht man vom Halbirungspuncte E der BD zu K eine Gerade und ku parallel zu BD, so gibt die Aehnlichkeit der Dreiecke EKP, Kku, ku (oder Pp) : Kk = KP : EK (oder EB): daher ist

$$\frac{Pp}{KP} = \frac{Kk}{EB} \text{ folglich } \tau = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{Kk}{EB}.$$

Theilt man den Bogen CB in unendlich viele Stückchen, wie Mm eines ist, und nimmt man alle Zeittheile, binnen welchen jedes solche Stückchen vom Pendelpuncte durchlaufen wird, zusammen, so erhält man die Dauer der Bewegung durch den Bogen CB, nämlich $\frac{T}{2}$, wenn man $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$ mit der Summe aller Werthe multiplicirt, die der Bruch $\frac{Kk}{EB}$ für jedes der erwähnten Theilchen annimmt. Letztere Summe ist offenbar gleich dem Quotienten des Halbkreises DKB, getheilt durch den Halbmesser EB, d. h. gleich π; hieraus folgt

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Für einen größeren Ausschlagwinkel a muß man, wie die höhere Analysis lehrt, setzen:

$$t = \pi\sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{16}\right)\frac{l}{g}}.$$

Ist $\frac{a^2}{16}$ nicht so klein, daß man diesen Bruch bei dem beabsichtigten Grade der Genauigkeit des Resultates vernachläßigen darf, so muß man nach letzterer Formel rechnen.

Die Formel $T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ gilt in aller Strenge eigentlich nur für die Radlinie, d. i. für die Linie, welche ein Punct der Peripherie eines auf einer geraden Bahn fortrollenden Rades beschreibt, bei welcher l dem Durchmesser des Erzeugungskreises gleichkommt, und T ist in ihr ganz unabhängig von der Größe des Ausschlagswinkels, weil diese Linie die merkwürdige Eigenschaft hat, daß in einer nach ihr geformten Rinne kleine und große Bögen, wenn sie sich nur im Scheitelpuncte endigen, und zugleich die Axe der Radlinie vertical steht, in derselben Zeit zurückgelegt werden.

290. Vergleicht man die Schwingungen zweier Pendel mit einander und sind l, l' ihre Längen, g, g' die Accelerationen der Schwere, welche, in so fern die Pendel sich nicht am nämlichen Orte befinden, verschieden seyn können, und T, T' die Schwingungszeiten, so folgt aus $$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ und } T' = \pi \sqrt{\frac{l'}{g'}}$$
$$T : T' = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l'}{g'}}.$$
An demselben Orte ist $g = g'$ also
$$T : T' = \sqrt{l} : \sqrt{l'} \text{ oder } T^2 : T'^2 = l : l'.$$
An verschiedenen Orten ist für ein und dasselbe Pendel, wegen $l = l'$,
$$T : T' = \frac{1}{\sqrt{g}} : \frac{1}{\sqrt{g'}}, \text{ oder } T^2 : T'^2 = g' : g.$$
Sind n und n' die Anzahl der Schwingungen beider Pendel an verschiedenen Orten binnen derselben Zeit $\mathfrak{T}$, so ist sowohl $\mathfrak{T} = nT$ als auch $\mathfrak{T} = n'T'$, mithin $nT = n'T'$ oder $n : n' = T' : T$. Hieraus folgt
$$n : n' = \sqrt{\frac{l'}{g'}} : \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ oder } n^2 : n'^2 = \frac{g}{l} : \frac{g'}{l'},$$
für $l = l'$ wird $n^2 : n'^2 = g : g'$; für $g = g'$, $n^2 : n'^2 = l' : l$. Hat man ein Pendel von der Länge l, das in einer Secunde n Schwingungen macht, so findet man die Länge des Secundenpendels λ aus
$$n^2 : 1 = \lambda : l \text{ d. i. } \lambda = n^2 l.$$

Diese Gesetze der Pendelschwingungen sind wieder ein Geistesproduct des berühmten Galiläi. Schon in seinem achtzehnten Jahre machte ihn das Schwingen einer Lampe im Dome zu Pisa darauf aufmerksam.

291. Bezeichnet man die Zeit, während welcher der von C, Fig. 120, ausgehende Pendelpunct den Bogen MB durchlauft mit t, so erhält man auf dem in 289 betretenen Wege
$$t = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{KB}{EB} = \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{KB}{DB}, \text{ und hieraus } \frac{KB}{DB} = t \sqrt{\frac{g}{l}}.$$
Nun ist $MP^2 = 2l \cdot BP$, oder weil man die sehr wenig verschiedenen Längen MP und MB mit einander verwechseln darf, $MB^2 = 2l \cdot BP$. Eben so hat man, wegen der Kleinheit der anfänglichen Elongation des Pendels $CB^2 = 2l \cdot DB$, mithin ist $\frac{MB^2}{CB^2} = \frac{BP}{DB}$. Zieht man die Sehne KB, deren Benennung von jener des gleichnamigen Kreisbogens durch einen darüber gesetzten Strich unterschieden werden mag, so zeigt sich $BP = \frac{KB^2}{DB}$. Hiedurch wird $\frac{MB^2}{CB^2} = \frac{\overline{KB}^2}{DB^2}$, mithin $\frac{MB}{CB} = \frac{\overline{KB}}{DB}$. Der Quotient $\frac{\overline{KB}}{DB}$ ist der Sinus des Winkels KDB (den trigonometrischen Halbmesser = 1 gesetzt) und der Quotient $\frac{KB}{DB}$ ist der Ausdruck des zwischen den Schenkeln dieses Winkels mit dem Halbmesser = 1 beschriebenen Bogens, daher hat man $\frac{\overline{KB}}{DB} = \sin \frac{KB}{DB}$

und somit besteht die Gleichung $\frac{MB}{CB} = \sin \frac{KB}{DB}$ oder

$$\frac{MB}{CB} = \sin\left(t \sqrt{\frac{g}{l}}\right).$$

Die Geschwindigkeit, welche der Pendelpunct an der Stelle M besitzt, sie heiße v, wird durch $\sqrt{2g.DP}$ ausgedrückt (289), und wenn man die in B Statt findende Geschwindigkeit c nennt, ist aus ähnlichem Grunde $c = \sqrt{2g.DB}$. Hieraus folgt

$$\frac{v}{c} = \sqrt{\frac{DP}{DB}} = \frac{DK}{DB} = \cos \frac{KB}{DB} = \cos\left(t \sqrt{\frac{g}{l}}\right).$$

Von diesen Resultaten läßt sich, wie an einem späteren Orte zu sehen seyn wird, ein nützlicher Gebrauch machen. Es ist für sich klar, daß diese Formeln, und daher auch jeder aus ihnen folgende Satz, auf alle Fälle angewendet werden kann, in welchen ein Punct, welcher während seiner Bewegung stets in derselben Entfernung von einem fixen Puncte zu bleiben genöthigt ist, nicht von der Schwere, sondern von einer andern, jedoch in ihrem Wirken dieser analogen Kraft getrieben wird, unter der Voraussetzung, daß der Punct von seiner Gleichgewichtslage sich stets nur wenig entfernt.

292. Wiewohl diese Gesetze bloß für ein einfaches Pendel entwickelt sind, so lassen sie sich doch auf ein zusammengesetztes anwenden, welches um eine horizontale Axe schwingt. Denn ein solches zusammengesetztes Pendel kann als ein System einfacher, aber ungleich langer, in verticalen Kreisen schwingenden Pendel angesehen werden. Die Schwingungen der kürzeren werden durch die der längeren verzögert, jene der längeren durch die der kürzeren beschleunigt, während jene Puncte, die in einer gewissen, zur Axe des Pendels parallelen, geraden Linie liegen, so schwingen, als ob sie mit den übrigen Puncten des Pendels gar nicht verbunden wären. Diese Puncte heißt man Schwingungspuncte, die Entfernung eines jeden derselben von der Axe gibt die Länge eines einfachen Pendels, dessen Schwingungen dieselbe Dauer haben, wie die des zusammengesetzten, welche Länge mithin diejenige ist, die in Rechnung gebracht werden muß, wenn man die vorhin dargestellten Formeln auf ein zusammengesetztes Pendel anwenden will. Die Linie, in welcher die Schwingungspuncte liegen, heißt die Axe der Schwingungspunkte. Sie hat die merkwürdige Eigenschaft, daß man sie mit der Drehungsaxe verwechseln kann, so daß ein Pendel an ersterer aufgehängt, nun die Schwingungspuncte in der vorigen Drehungsaxe hat. Sind an einer Pendelstange in ungleichen Abständen von den Enden zwei Axen so angebracht, daß sie um jede derselben schwingend Secunden schlägt; so gibt die Entfernung beider Axen die Länge des einfachen Secundenpendels. Hierauf beruht die Einrichtung des Reversionspendels. Daß dabei noch auf die Größe der Schwingungsbogen und auf die Gewichtsverminderung des Pendels in der Luft (250) Rücksicht genommen werden müsse, versteht sich von selbst. Man kann die Länge des mit dem zusammengesetzten Pendel gleichzeitig schwingenden, einfachen Pendels beiläufig finden, wenn man ein einfaches Pendel neben dem zu-

sammengesetzten aufhängt und es so lange verlängert oder verkürzt, bis beide gleichzeitig schwingen. Die Länge des einfachen Pendels gibt dann die Entfernung der Drehungsaxe von der Axe der Schwingungspuncte. Genauer lehrt dieses die Rechnung.

Es sey A B, Fig. 121, irgend ein Körper, der sich um den Aufhängepunct A bewegen kann, und solchergestalt ein zusammengesetztes Pendel vorstellt, z. B. eine Stange. Betrachten wir in ihr, indem wir selbe in unendlich kleine Stuckchen getheilt denken, die Theilchen m, m′, m″,... Es komme die Stange aus der Lage A B in die Lage A B′, wobei die Puncte m, m′, m″,... gleichzeitig die Kreisbogen m n, m′n′, m″n″,... beschreiben, so ist

$$mn : m'n' : m''n'' : \ldots = Am : Am' : Am'' : \ldots$$ oder

$\frac{mn}{Am} = \frac{m'n'}{Am'} = \frac{m''n''}{Am''} = \ldots$ Denkt man sich diese Bogen binnen der Zeit τ beschrieben, und bezeichnet man die Geschwindigkeiten, welche die genannten Puncte dabei haben, der Reihe nach mit v, v′, v″,... und die Entfernungen dieser Punete von A mit a, a′, a″,... so nimmt die vorige Gleichung, wenn man durchgehends durch die Zeit τ dividirt und bedenkt, daß $\frac{mn}{\tau} = v$, $\frac{m'n'}{\tau} = v'$, $\frac{m''n''}{\tau} = v'' \ldots$ ist, folgende Gestalt an: $\frac{v}{a} = \frac{v'}{a'} = \frac{v''}{a''} = \ldots$. Es sey ω der gemeinschaftliche Werth aller dieser Quotienten, welchen Werth man die Winkelgeschwindigkeit der sich drehenden Stange nennt, so hat man $v = a\omega$, $v' = a'\omega$, $v'' = a''\omega$, u. s. w. Nennt man die Massen der genannten Puncte m, m′, m″,... und denkt man sich unter v, v′, v″,... nicht die Geschwindigkeiten, welche diese Massen in irgend einem Augenblicke schon besitzen, sondern nur die Zunahmen an Geschwindigkeit, welche diese Massen durch die während einer sehr kleinen Zeit τ Statt findende Einwirkung der Schwere im Verlaufe der Pendelschwingung der Stange empfangen, und läßt man eben so ω die entsprechende Zunahme an Winkelgeschwindigkeit bedeuten, so sind die Producte mv, $m'v'$, $m''v''$,... oder was dasselbe ist, $ma\omega$, $m'a'\omega$, $m''a''\omega$,... die Ausdrücke der bewegenden Kräfte, welche diesen Massen während der Zeit τ zu Theil geworden sind. Es sey γ die Geschwindigkeit, welche die durch Zerlegung senkrecht gegen die Richtung der Stange hervorgehende Componente der Schwere binnen der Zeit τ einer freien Masse ertheilen würde, so entsprechen den genannten Massen die bewegenden Kräfte $m\gamma$, $m'\gamma$, $m''\gamma$,... und es hätten diese Massen, wenn sie nicht durch den Zusammenhalt der Stange an einander gebunden wären, jede einzeln die volle Wirkung der ihr zukommenden Schwere erfahren. Allein da doch von dem Effecte dieser Kräfte nichts verloren gehen kann, so müssen diesen die vorgenannten, an der Stange in der Wirklichkeit sich äußernden Kräfte $ma\omega$, $m'a'\omega$, $m''a''\omega$,... völlig gleich gelten, mithin, da hiebei die Stange als ein Hebelarm anzusehen ist, die Gleichung

$$ma\gamma + m'a'\gamma + m''a''\gamma + \ldots = ma^2\omega + m'a'^2\omega + m''a''^2\omega + \ldots.$$

bestehen, d. h. es muß $\frac{\gamma}{\omega} = \frac{ma^2 + m'a'^2 + m''a''^2 + \ldots}{ma + m'a' + m''a'' + \ldots}$

seyn. Wäre nur ein einziger schwerer Punct M in der Distanz A M = l an der Stange vorhanden, und sollte die Winkelgeschwindigkeit dieselbe Aenderung wie vorhin erfahren, d. h. wäre ein mit der Stange gleich schwingendes einfaches Pendel vorhanden, dessen Länge l ist, so müßte nach der so eben erhaltenen Gleichung

$$\frac{\gamma}{\omega} = \frac{Ml^2}{Ml} = l$$

seyn. Dieß gibt

$$l = \frac{ma^2 + m'a'^2 + m''a''^2 + \ldots}{ma + m'a' + m''a'' + \ldots}$$

Man nennt das Product einer Masse mit dem Quadrate ihres Abstandes von einer Drehungsaxe das Moment der Trägheit derselben bezüglich dieser Axe, und das Product der Masse mit dem einfachen Abstande von der Axe das statische Moment; es gilt daher die Regel: die Länge des einfachen Pendels, das mit einem zusammengesetzten übereinstimmend schwingt, ist gleich der Summe der Momente der Trägheit aller seiner Theile dividirt durch die Summe sämmtlicher statischer Momente bezüglich der Drehungsaxe. Wendet man diese Regel auf eine Stange von der Länge A an, so findet man $l = \frac{2}{3}$ A. Aus der für l gefundenen Formel läßt sich die oben ausgesprochene Eigenschaft der Schwingungspuncte, wenigstens für eine dünne Stange, leicht ableiten. Nimmt man nämlich den Schwingungspunct zum Aufhängepunct der Stange, so treten $l-a$, $l-a'$, $l-a''$, ... an die Stelle von a, a', a'', ... Heißt nun die jetzt Statt findende Länge des gleich schwingenden einfachen Pendels L, so wird

$$L = \frac{m(l-a)^2 + m'(l-a')^2 + m''(l-a'')^2 + \ldots}{m(l-a) + m'(l-a') + m''(l-a'') + \ldots}$$

oder wenn man zur Abkürzung

$$ma^2 + m'a'^2 + m''a''^2 + \ldots = S$$
$$ma + m'a' + m''a'' + \ldots = T$$
$$m + m' + m'' + \ldots = M$$

setzt, $L = \frac{Ml^2 - 2Tl + S}{Ml - T}$. Aber es ist $l = \frac{S}{T}$, folglich $S = Tl$,

daher hat man $L = \frac{Ml^2 - Tl}{Ml - T} = l$, was zu beweisen war.

293. Die Gleichzeitigkeit aller Schwingungen eines Pendels, welches immer dieselbe Länge beibehält, empfiehlt es zum bequemen und richtigen Zeitmesser. Man braucht es nur mit einem Räderwerke zu verbinden, welches bei jedem Schlage des Pendels um einen oder mehrere Zähne weiter rückt, und zugleich einen Zeiger mit sich herumführt, der die Anzahl der geschehenen Schwingungen anzeigt. Am sichersten nimmt man dazu ein Secundenpendel, aus dessen Schwingungen man noch leicht $^1/_4$ Secunde abnehmen kann.

Bevor man diesen Gebrauch des Pendels kannte, mußte man sich auf eine elende Art mit Wasser- und Sanduhren behelfen, und aus der Menge des Wassers oder Sandes, die aus einer Oeffnung eines weiten Gefäßes abgeflossen, die Zeitdauer abnehmen. Man sieht wohl auf den ersten Blick, wie unsicher dieses Verfahren seyn mußte, und wie viel Dank wir dem berühmten Huyghens schulden, der zuerst den Gebrauch des Pendels als Zeitmesser lehrte. *Christ. Hugenii horologium oscillatorium. Paris.* 1673. — Auf der Theorie des Pendels beruht auch der musikalische Zeitmesser (métronome); das Centrifugal-Pendel (ein Pendel, welches bei jeder Schwingung eine Kegelfläche beschreibt), und dessen Anwendung auf Tertienzähler.

294. Wenn ein Pendel ein ganz genauer Zeitmesser seyn soll, so muß es von der ausdehnenden Kraft der Wärme so wenig als möglich afficirt werden. Deßhalb muß es stets in Orten aufbewahrt werden,

wo der Temperaturwechsel nicht groß ist, oder, wo dieser nicht ganz vermieden werden kann, zu Pendelstangen ein Material gewählt werden, das sich in der Wärme nur wenig ausdehnt, wie z. B. gut ausgetrocknetes, in Oehl gesottenes und dann überfirnißtes Holz. Am besten setzt man Pendelstangen aus mehreren Stücken so zusammen, daß sich die Wirkungen der Wärme gegenseitig aufheben. Eine solche Vorrichtung heißt eine Compensation.

Eine der einfachsten, sinnreichsten Compensationen ist die sogenannte Quecksilbercompensation (Fig. 122). Die Stange A B wird durch die Wärme verlängert, und das Quecksilber C E D so ausgedehnt, daß es den Raum C′E′D′ einnimmt. Ist nun die Quecksilbermenge richtig ausgemittelt, so senkt sich der Schwingungspunct des Pendels durch die Ausdehnung der Stange um eben so viel, als er sich wegen Ausdehnung des Quecksilbers erhebt, und die Lage desselben bleibt beständig. Denselben Zweck sucht man auch durch die sogenannten Rostpendel zu erreichen, deren eines Fig. 123 vorstellt. A B ist die Pendelstange von Eisen, von demselben Material sind auch die Stangen C D und c d, während E F, und e f von Zink sind. Wenn nun die Ausdehnung des Zinkes doppelt so groß ist, als die des Eisens; so wird, weil das Pendel in G aufgehangt ist, die Senkung des Schwingungspunctes durch die Ausdehnung der Pendelstange A B und der Hilfsstangen C D, c d durch das aufgehoben, um was er sich bei der Ausdehnung der Zinkstangen E F, e f hebt. Sehr sinnreich ist die von Martin angegebene Compensation (Fig. 124). A B ist die Pendelstange, C D ein Querblech, in C und D mit kugelförmigen Massen versehen, die sich der A B durch Schrauben nähern oder davon entfernen lassen. C D besteht aus zwei wohl an einander geschraubten Blechen, die sich in der Wärme verschieden ausdehnen, und wovon das mehr ausdehnbare unten ist. Ist nun C D bei irgend einer Temperatur gerade; so nimmt es bei größerer Wärme die Form C′D′, bei geringerer die Form C″D″ an, und erhält so den Schwingungspunct des Pendels, ungeachtet der Ausdehnung oder Zusammenziehung der Pendelstange A B, stets in derselben Entfernung von der Axe.

295. Noch wichtiger wird dem Physiker das Pendel dadurch, daß es die Gesetze der irdischen Schwere, die in 133 aus einem allgemeinen Naturgesetze abgeleitet wurden, unmittelbar darthut, und zwar wie folgt: 1) Die Richtung eines ruhigen Pendels zeigt die Richtung der Schwere an. 2) Die Gleichzeitigkeit kleiner Schwingungen bei Pendeln von gleicher Länge thut die stets unveränderliche Wirksamkeit der Schwere an einem und demselben Orte der Erde dar. 3) Der Umstand, daß Pendel von dem mannigfaltigsten Materiale, wenn sie nur gleich gestaltet sind, gleichzeitig schwingen, beweiset, daß alle Materie gleich schwer sey. 4) Setzt man in $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, $t = 1$, so wird $g = \pi^2 l = 9{,}86960\, l$, mithin ist auch die Beschleunigung der Schwere durch die Länge des Secundenpendels gegeben. Für Wien ist $l = 3{,}14021$ F. 5) Da ein Pendel am Gipfel eines Berges weniger Schwingungen macht, als am Fuße desselben; so nimmt die Schwere ab, wenn man sich vom Erdmittelpuncte entfernt. 6) Durch Pendelbeobachtungen hat man das schon von Newton aufgestellte Gesetz bewährt gefunden, daß die Schwere gegen den

Aequator zu abnimmt, gegen die Pole aber wächst; denn Richer fand (J. 1672), daß ein Pendel, welches in Paris Secunden schlug, auf der Insel Cayenne verkürzt werden mußte, um auch dort Secunden zu schlagen. 7) Sogar die Gegenseitigkeit der Anziehung unter allen Körpern der Erde wird aus den Erscheinungen sichtbar, die uns Pendel darbieten. Man bemerkt nämlich, daß ein Pendel in der Nähe großer Berge gegen dieselben abgelenkt wird.

Schon Newton ließ Gold, Silber, Blei, Glas, Sand, Kochsalz, Wasser, Weizen und Holz in gleichen Kreisbogen schwingen, und fand, daß ihre Schwingungen gleichzeitig seyn; neuestens hat Bessel ähnliche Versuche mit der diesem ausgezeichneten Forscher eigenen Genauigkeit angestellt, und zwar mit Gold, Silber, Blei, Eisen, Zink, Messing, Marmor, Thon, Quarz, Wasser, Meteoreisen und Meteorstein, aber keine Andeutung erhalten, daß der Satz, alle Körper seyen gleich schwer, nicht wirklich das Naturgesetz sey. (Pogg. Ann. 25. 401.)

Bougner und Condamine fanden, daß ein Pendel, welches am Ufer des Meeres in 24 Stunden 98770 Schwingungen machte, es zu Quito (9036 Fuß höher) nur auf 98740, auf dem Pichincha (14988 Fuß über dem Meere) gar nur auf 98720 Schwingungen brachte. Bougner berechnete hieraus die Abnahme der Schwere und fand, daß sie, wenn man sie an der Meeresfläche = 1 setzt, zu Quito 0,999249, auf dem Pichincha 0,998816 sey. — Man kann es als eine durch die Erfahrung bestätigte Sache ansehen, daß die Länge l eines Secundenpendels unter der Breite φ in P. Linien ausgedrückt werden kann durch

$$l = 439{,}2066 + 2{,}3862 \sin \varphi^2,$$

wo 439,2066 die Länge des Sexagesimal-Secundenpendels unter dem Aequator in P. Linien bezeichnet. — Mehr über Pendelbewegungen liefert besonders Kraft's Mechanik, übersetzt von Steingruber. Dresden, 1787, S. 260—350. Gehler's neues Wörterbuch: Pendel. Untersuchungen über die Länge des einfachen Secundenpendels von von F. W. Bessel. Berlin 1828.

C. Centralbewegung.

296. Wenn ein völlig freier Körper von einer ununterbrochen nach demselben Puncte wirkenden Kraft gezogen wird, während er durch eine andere, momentan wirkende Kraft eine seitwärts gehende Bewegung erhalten hat; so entsteht eine Centralbewegung. Die beiden wirkenden Kräfte heißt man Centralkräfte, und zwar jene Centripetalkraft, der Punct nach dem sie zielt, den Centralpunct; diese hingegen Tangentialkraft.

Hieher gehört offenbar auch der Fall, wenn der Körper sich bereits im Zustande der Bewegung befindet, und sodann von der Centripetalkraft afficirt wird; man kann die Sache immer so nehmen, als ob er die Geschwindigkeit, die er seiner Trägheit zu Folge beibehalten würde, in einem beliebigen Augenblicke erst erhalten hätte. Es läßt sich auch statt einer Kraft, die das Bewegliche zum Centralpuncte hinzieht, eine solche betrachten, durch welche der Körper von diesem Puncte fortwährend abgestossen wird, doch hat dieser Fall, der genau wie der obige behandelt werden kann, bis jetzt keine practische Anwendung gefunden.

297. Es wirke die Centripetalkraft auf einen Körper A (Fig. 125) nach AC, die Tangentialkraft nach Ax, und man nehme an, daß die Centripetalkraft nicht ununterbrochen wirke, sondern daß eine Wir-

kung auf die andere in der Zeit τ folge, ferner daß das Bewegliche in der Zeit τ, in Folge des Impulses der Tangentialkraft, oder in so fern es bereits in Bewegung ist, bloß wegen seiner Trägheit den Weg AB zurücklege, durch bloße Wirkung der Centripetalkraft aber den Weg AD, wobei nämlich AD gegen AB sehr klein gedacht werden muß (33. Anm.); so kommt es durch die Wirkung beider in derselben Zeit nach E, wenn AE die Diagonale des Parallelogramms ABED ist. Wenn hier keine fernere Wirkung der Centripetalkraft erfolgte, so würde das Bewegliche in der Geraden Ay fortgehen und in der Zeit τ wieder den Weg EF = AE zurücklegen. Weil aber in E wieder die Wirksamkeit der Centripetalkraft eintritt, vermög welcher das Bewegliche in τ den Weg EG beschriebe, wenn es nicht schon in E eine Bewegung hätte; so muß es nach H kommen. Hier tritt wieder derselbe Fall ein, wie in E, und so geht es weiter, so daß es klar genug ist, daß der Weg des Körpers keine gerade Linie seyn kann, sondern, bei der Voraussetzung einer stoßweise erfolgenden Wirkung der Centripetalkraft, ein Polygon, das in der Ebene der Richtungen der Kräfte liegt. Dieses Polygon wird sich aber einer continuirlich krummen Linie desto mehr nähern, je kleiner τ ist. Stellt man sich τ unendlich klein vor, d. h. läßt man die Centripetalkraft ununterbrochen wirken, so wird der Weg wirklich eine krumme Linie. Die Richtungen Ax, Ey, Hz,... nach welchen das Bewegliche fortschreiten würde, wenn die Centripetalkraft bei der Ankunft desselben in A oder in E oder in H... plötzlich zu wirken aufhörte, erscheinen hiebei als Tangenten der Bahn. Die Gestalt dieser hängt von der Stärke der Tangentialkraft, von der Stärke und dem Gesetze der Ab- und Zunahme der Centripetalkraft, und von der Lage des Mittelpunctes der Kräfte ab, kann aber nur durch Hilfe der höheren Analysis ohne gar viele Umschweife nachgewiesen werden.

Die höhere Analysis lehrt, daß wenn die Stärke der Centripetalkraft dem Quadrate der Distanz des Beweglichen vom Centralpuncte verkehrt proportionirt ist, die Bahn eine Kegelschnittslinie sey, wovon ein Brennpunct mit dem Centralpuncte zusammen fällt. Die nähere Beschaffenheit der Kegelschnittslinie richtet sich nach der Intensität der Centralkraft, der anfänglichen Distanz des Beweglichen vom Centralpuncte und nach der Geschwindigkeit, die ihm die Tangentialkraft ertheilt. Steht aber die Centralkraft mit jener Distanz in geradem Verhältnisse, dann ist die Bahn eine Ellipse, die den Centralpunct zum Mittelpuncte hat.

298. Die Dreiecke ACE, EDH, Fig. 125, welche die Verbindungslinie des Centralpunctes mit dem Beweglichen in gleichen Zeittheilchen durchläuft, haben gleiche Flächenräume. Denn zieht man CF, so sind die Dreiecke ACE, ECF gleich, weil sie auf gleichen Grundlinien stehen und einerlei Höhe haben; ferner sind die Dreiecke ECF, ECH gleich, weil EC und FH parallel sind, mithin sind auch die Dreiecke ACE, ECH gleich. Da sich dieses von je zwei solchen benachbarten Dreiecken sagen läßt, und sonach je zwei Sectoren, welche der vom Centralpuncte zum Beweglichen gehende Radiusvector in gleichen Zeiten durchstreicht, als Summen gleicher Men-

gen gleich großer Dreiecke betrachtet werden können, so ergibt sich die Folgerung, daß bei einer durch Centralbewegung beschriebenen Bahn der Radiusvector in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume durchwandert, oder was dasselbe heißt, daß die von dem Radiusvector beschriebenen Flächenräume den Zeiten, in welchen dieß geschieht, proportionirt sind.

Es besteht also bei der Centralbewegung eine Art Gleichförmigkeit, nicht in Betreff der Wege, welche das Bewegliche zurücklegt, sondern hinsichtlich der Flächenräume, welche der ihm entsprechende, vom Centralpuncte ausgehende Radiusvector durchstreicht. Man nennt diese Eigenschaft der Centralbewegung die Erhaltung der Flächen. Der nachfolgende Lehrsatz zeigt, daß dieselbe der Centralbewegung ausschließend zukommt.

299. Läßt sich bei der Bewegung eines freien Körpers in einer krummen Bahn ein Punct angeben von der Art, daß der von ihm zum Körper gehende Radiusvector in gleichen Zeiten gleiche Sectoren durchläuft, so ist, vorausgesetzt, daß die Bahn dem genannten Puncte ihre hohle Seite zukehrt, eine den Körper stets nach diesem Puncte hinziehende Kraft vorhanden, mithin die Bewegung eine Centralbewegung. Denn es seyen AB, BD Fig. 126 zwei unendlich kleine, in unmittelbar auf einander folgenden gleichen Zeiten beschriebenen Stücke der Bahn des Beweglichen, wovon das zweite von der Richtung des ersten abweicht. Verlängert man AB bis E, so daß BE = AB wird, zieht man ED und macht BF der ED parallel und gleich, so zeigt BF die Richtung und Größe des Weges an, den das Bewegliche der Kraft gemäß, die es von seiner ursprünglichen Richtung ablenkte, binnen desselben Zeittheiles beschrieben hätte, wenn es dieser Kraft ausschließend hätte folgen können. Ist nun C ein Punct, bezüglich dessen die Dreiecke ACB, BCD gleiche Flächen haben, so werden, weil die Dreiecke ACB, BCD gleich groß sind, auch die Dreiecke BCD, BCE gleich seyn müssen, woraus folgt, daß BC und ED parallel laufen. Es kann also die BF, die gleichfalls der ED parallel ist, keine andere Richtung haben, als eine solche, die durch den Punct C hindurchgeht.

Kehrt die krumme Bahn dem Puncte, auf den die vorgenannten Sectoren sich beziehen, ihre convexe Seite zu, so findet zwischen ihm und dem Körper keine Anziehung, sondern Abstoßung Statt.

300. Bewegt sich ein Körper in der krummen Linie AB (Fig. 127) vermög Centralkräften, so läßt sich das Verhältniß seiner Geschwindigkeiten in verschiedenen Puncten A und B seiner Bahn folgendermaßen finden: Es komme das Bewegliche in einem Zeittheilchen, das für sehr klein angenommen wird, von A nach a, und in derselben Zeit von B nach b; so sind Aa und Bb den Geschwindigkeiten in A und B proportionirt. Zieht man nun nach dem Mittelpuncte C der Centralkräfte die Linien AC, aC und BC, bC, so sind die Flächenräume der Dreiecke ACa, BCb gleich. Sind Ax und By Tangenten zu A und B, ferner CD auf Ax, CE auf By senkrecht; so wird der erstere Flächenraum durch das Product $\frac{1}{2}$ Aa . CD, der andere durch $\frac{1}{2}$ Bb . CE ausgedrückt. Es ist also Aa . CD = Bb . CE, mithin
Aa : Bb = BE : CD, d. i. die Geschwindigkeiten verhalten sich verkehrt

wie die Senkrechten, welche vom Mittelpuncte der Kräfte auf die Tangenten des Ortes des Beweglichen gezogen werden. Hieraus ersieht man schon, daß die Bewegung in einem Kreise, dessen Mittelpunct zugleich jener der Centralkräfte ist, gleichförmig, hingegen in einer Ellipse, deren ein Brennpunct Mittelpunct der Centralkräfte ist, theils beschleunigt, theils verzögert seyn müsse.

301. Geschieht die Bewegung durch Centralkräfte in einem Kreise, so ist $AC = EC = HC$ (Fig. 125), also auch $AE = EH$, weil die Sectoren ACE, ECH einerlei Flächen haben, woraus wieder erhellet, daß die Bewegung gleichförmig seyn muß. Aber es ist $AE = EF = GH$, mithin auch $EH = GH$. Es sind also die Dreiecke GEH, CEH beide gleichschenklig, und wegen des gemeinschaftlichen Winkels an den Grundlinien, nämlich CEH, ähnlich. Hieraus folgt die Proportion $EG : EH = EH : EC$, welche $EG = \frac{EH^2}{EC}$ gibt. Hierdurch läßt sich die Größe der Centripetalkraft bei der Bewegung in einem Kreise leicht finden. Nennt man nämlich die Geschwindigkeit des Beweglichen in seiner Bahn, d. h. jene, mit welcher es die Wege AE, EH,... jeden während der Zeit τ durchläuft, c; ferner die Geschwindigkeit, die ihm in Folge der Einwirkung der stoßweise thätigen Centralkraft im Puncte E zu Theil wird, und vermöge welcher es für sich allein binnen der Zeit τ den Weg EG zurücklegen würde, γ; endlich den Halbmesser des Kreises $EC = r$: so ist $EH = c\tau$, $EG = \gamma\tau$, mithin $\gamma\tau = \frac{c^2\tau^2}{r}$, woraus $\frac{\gamma}{\tau} = \frac{c^2}{r}$ folgt. Bezeichnet man durch G die Acceleration, welche die Centralkraft hervorbringen würde, wenn sie eine Zeiteinheit hindurch mit der Stärke fortwirkte, die sie im Puncte E hat, und sieht man γ als die Geschwindigkeit an, welche sie während der Zeit τ, die als unendlich klein betrachtet werden kann, erzeugt, so hat man offenbar (vergl. 33) $G = \frac{\gamma}{\tau}$, also $G = \frac{c^2}{r}$. Die Größe der Centripetalkraft p wird durch das Product mG ausgedrückt, worin m die Masse des Beweglichen angibt, daher ist

$$p = \frac{mc^2}{r}$$

die Formel für die Centripetalkraft bei der Kreisbewegung. Dieselbe Formel läßt sich auf die Bewegung in jeder anderen Bahn anwenden, wenn r den Krümmungshalbmesser für den Punct vorstellt, in welchem das Bewegliche sich befindet. Heißt die Zeit, in welcher ein Umlauf im Kreise gemacht wird, t, und das Kreisverhältniß π; so ist

$$c = \frac{2\pi r}{t}, \text{ und daher}$$

$$p = \frac{4\pi^2 mr}{t^2}.$$

Bedeuten M, P, R, T dasselbe für einen zweiten Kreis; so ist

$$P : p = \frac{MR}{T^2} : \frac{mr}{t^2}.$$

302. Nimmt man an $P:p = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$, so erhält man mittelst

$$P:p = \frac{MR}{T^2} : \frac{mr}{t^2}$$

die Proportion $\frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2} = \frac{MR}{T^2} : \frac{mr}{t^2}$, oder

$$T^2 : t^2 = R^3 : r^3,$$

d. h. wenn sich die Centripetalkräfte gerade verhalten wie die Massen und verkehrt wie die Quadrate der Entfernungen, so verhalten sich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Würfel der Entfernungen. Dieses gilt auch umgekehrt; denn setzt man voraus:

$T^2 : t^2 = R^3 : r^3$, so hat man mittelst

$$P : p = \frac{MR}{T^2} : \frac{mr}{t^2}$$

die neue Proportion $P : p = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$.

Dieses Gesetz heißt das Kepler'sche, weil es der große Kepler nebst dem 298 erwiesenen, und einem dritten, am 15. Mai 1618 an der Bewegung der Himmelskörper befolgt fand. Die theoretischen Sätze über die Centralbewegung verdanken wir dem unsterblichen Newton.

303. Wenn ein Körper auf was immer für eine Weise gezwungen wird, sich in einer krummen Bahn zu bewegen; so gibt er, vermöge seiner Trägheit, ein Bestreben kund, sich von dieser Bahn zu entfernen. In Folge dessen äußert er normal gegen die Bahn eine Kraft, welche entweder durch diejenige, die dem Körper fortwährend eine Aenderung seiner Richtung ertheilt, und ihn dadurch einen krummen Weg zu nehmen nöthiget, oder falls dem Körper eine feste Bahn vorgezeichnet ist, durch den Widerstand derselben aufgehoben werden muß. Man nennt die erwähnte Kraft die Fliehkraft oder Schwungkraft. Um die Fliehkraft, so wie sie als reine Aeußerung der Trägheit gegeben ist, vor Augen zu haben, sey AB, Fig. 118, ein unendlich kleines, binnen der Zeit τ durchlaufenes Stückchen einer festen Bahn, welcher ein Bewegliches zu folgen genöthiget ist, und betrachten wir den Uebergang von diesem auf ein nächstes unendlich kleines Stückchen, wobei das Bewegliche, statt während des nächsten Zeittheilchens τ den Weg $BE = AB$ in der Verlängerung von AB zu beschreiben, die Richtung BC erhält, und (vorausgesetzt daß keine weitere Kraft ins Spiel trete) die Diagonale des Rechteckes BHEF, nämlich BE durchlauft. Dabei übt offenbar das Bewegliche gegen das Bahntheilchen BF einen Druck p aus, der, wenn man sich denselben als bewegende Kraft vorstellt, das Bewegliche binnen der Zeit τ durch BH geführt hätte. Da der Unterschied zwischen BE und BF aus dem in 286 vorgetragenen Grunde im Vergleiche mit der genannten Linie selbst unendlich klein ist, so kann man $BF = BE$ setzen, und somit BH als Verlängerung des Halbmessers eines durch die Puncte A, B, F geführten Kreises betrachten, welcher der Krümmungskreis der Bahn an der Stelle B ist. Nun aber lassen sich hier alle in 301

angestellten Betrachtungen wiederholen, und man erhält für den Druck p die Formel $p = \frac{m c^2}{r}$, wobei m die bewegte Masse, c deren Geschwindigkeit und r den Krümmungshalbmesser der Bahn vorstellt. Ist die dem Beweglichen vorgezeichnete Bahn ein Kreis, so ist die Fliehkraft der Centripetalkraft gleich und entgegengesetzt, welche das Bewegliche, in so fern es in freiem Zustande und mit der Geschwindigkeit c begabt gedacht wird, in dieser Kreisbahn zu erhalten vermag.

304. Wenn sich ein Körper um eine Axe dreht, so bekommen alle außer derselben liegenden Theile, der sich entwickelnden Fliehkraft gemäß, ein Bestreben, sich nach einer auf sie senkrechten Richtung von ihr zu entfernen. Sind die Theile eines solchen Körpers verschiebbar, so kann dadurch eine Aenderung in der Gestalt desselben oder gar eine Trennung Statt finden. Eine weiche Kugel, die sich um einen ihrer Durchmesser dreht, bekommt eine abgeplattete Gestalt, weil die Theile, welche in der Ebene des größten, auf der Axe senkrechten Kreises liegen, eine größere Schwungkraft haben, als diejenigen, welche sich in einer andern Ebene befinden. Sind die Theile eines sich drehenden Körpers nicht verschiebbar, so geht aus ihrer Schwungkraft eine Wirkung auf die Axe hervor. Ist die Masse des Körpers dergestalt um die Axe herum angeordnet, daß sich die Wirkungen sämmtlicher Schwungkräfte der Körpertheile auf die Axe tilgen, wie es der Fall ist, wenn die Axe vollkommen symmetrisch von Masse umgeben erscheint, mithin die Schwungkraft jedes Theilchens durch die gleiche und entgegengesetzte eines andern Theilchens aufgehoben wird, so heißt die Axe eine freie Axe. Es läßt sich mittelst höherer Rechnung beweisen, daß jeder Körper wenigstens drei freie Axen zulasse, die sich in seinem Schwerpuncte rechtwinklig durchschneiden. Um zwei derselben erfolgt die Drehung mit Stabilität, d. h. der Körper zeigt, wenn äußere Kräfte seine Drehung um eine dieser Axen zu stören suchen, ein Bestreben in seinem früheren Zustande zu verharren. Der dritten freien Axe kommt aber keine Stabilität zu. Die Axe der Erde, die Axen unserer gewöhnlichen Schwungräder u. dgl. sind stabile freie Axen.

Dieses läßt sich besonders gut mit einem von Bohnenberger angegebenen Instrumente versinnlichen, das in Fig. 128 abgebildet ist. Es besteht aus drei, unter rechten Winkeln gegen einander beweglichen Ringen A, und aus einem innerhalb des kleinsten derselben angebrachten massiven, um seine Axe beweglichen, abgeplatteten Sphäroid B. An der Axe desselben ist eine kleine Rolle c angebracht. Gibt man dem inneren Kreise, und dadurch auch der Axe der Kugel eine schiefe Lage, befestiget an einem Stifte der Rolle eine mit einer Schlinge versehene feine Schnur, wickelt sie fast ganz auf, und setzt dann durch einen raschen Zug an diesem Faden, wodurch man ihn ganz abwickelt, die Kugel in eine schnell drehende Bewegung; so kann man das Instrumentchen frei herumtragen, und die Axe wird, wenn das Sphäroid gehörig äquilibrirt ist, immer nach derselben Gegend hinsehen; stößt man mit dem Finger auf den Umfang des innersten Ringes, so fühlt man einen bedeutenden Wid rstand, die Axe läßt sich nicht leicht aus ihrer Lage bringen, während sie, wenn der Körper im Zustande der

Ruhe ist, der geringsten Kraft weicht; es scheint, als ob die Schwungkraft jedes Theilchen in der Ebene zu erhalten strebe, in der es sich dreht. Sucht man durch kleine Stöße die Neigung des innersten Ringes zu ändern, so bewegt sich der mittlere Ring und zwar, wenn der Stoß von oben herab geht, dem Sinne der Drehung des Körpers entgegen; stößt man gegen den mittleren Ring, um ihn in eine andere Verticalebene zu stellen, so ändert sich die Neigung des innersten Ringes. Bringt man am unteren Theile des innersten Ringes ein kleines Gewichtchen an, welches denselben, wenn kein Drehen Statt findet, so herabzieht, daß die Axe der Kugel vertical steht, neigt dann den inneren Kreis gegen den Horizont und erregt die drehende Bewegung; so nimmt die Axe nicht alsogleich die verticale Lage an, sondern bewegt sich nach einer Richtung, welche der Richtung der Rotation der Kugel entgegengesetzt ist, und zwar mit einer desto größeren Geschwindigkeit, je langsamer die Axendrehung der Kugel wird (Gilb. Ann. 60. 60). — Aus der Fliehkraft erklären sich: das Spritzen nasser Räder oder der Schleifsteine beim Umdrehen, das heftige Herumschleudern der Stücke eines gebrochenen, im Laufe begriffenen Rades oder Mühlsteines, das oftmalige Losreißen eines Hammers vom Stiele während des Schwunges; Heß's Wassermaschine [ein System offener, um eine verticale Axe beweglicher und gegen dieselbe geneigter Röhren, die unten im Wasser stehen, oben aber in eine Rinne sich münden (Fig. 129)]; die Wirkung der Schleuder, der Ventilatoren, und die vielerlei Erscheinungen, welche mittelst der sogenannten Centralmaschine hervorgebracht werden. Siehe über Centralbewegung: *Newtoni philosophiae naturalis principia mathematica. Lond.* 1687.

D. Stoß der Körper.

305. Wenn ein Körper an eine bewegliche Masse stößt, so erleidet er nicht nur eine Veränderung, sondern bewirkt auch eine an der gestoßenen Masse. Die Größe und Beschaffenheit dieser Veränderung hängt von der Richtung der bewegten und zusammenstoßenden Körper, von ihrer Geschwindigkeit, Masse und Gestalt, ja auch von ihrer Elasticität und ihrem Aggregationszustande ab. Der Stoß heißt gerade, wenn die Richtung der Bewegung der Körper auf der Ebene, wo sie einander im Anfange des Stoßes berühren, senkrecht ist, sonst schief; man nennt ihn central, wenn die Richtung der Körper vor dem Stoße durch deren Schwerpunct geht, excentrisch, wenn dieses nicht der Fall ist. Bei kugelförmigen, homogenen Körpern, die hier vorzüglich betrachtet werden sollen, ist jeder gerade Stoß auch ein centraler.

306. Wie der Stoß auch beschaffen seyn mag, so geht doch immer eine Veränderung in der Bewegung der Körper vor. Da häufig bei einer solchen Veränderung die Geschwindigkeit aller Theile eines Körpers bis zu einem bestimmten Grade wachsen muß, und dieses nicht augenblicklich geschehen kann; so wird dazu auch eine gewisse Zeit erfordert. Wirkt nun eine Masse auf eine andere zu schnell, als daß sich die Geschwindigkeit in alle Theile bis zum gehörigen Grade in rechter Zeit verbreiten könnte; so werden die unmittelbar getroffenen Puncte des gestoßenen Körpers die ganze Gewalt des Stoßes aushalten müssen.

Ist der Zusammenhang der Theile nicht groß genug, um dieser Gewalt zu widerstehen, so erfolgt eine Trennung.

Dieses erläutern unzählige Erscheinungen. Z. B. ein Bret, welches so aufgestellt worden, daß es durch einen mäßigen Druck umgeworfen werden kann, bleibt stehen, wird aber durchlöchert, wenn es von einer scharfen Flintenkugel getroffen wird; eine Glastafel wird von einer solchen Kugel durchlöchert, ohne zersplittert zu werden, während letzteres bei einem schwächeren Drucke, der eine Trennung der Glastheile zur Folge hat, nie unterbleibt; ein schwacher Faden, der einen Stein hebt, wenn man dabei langsam anzieht, zerreißt, wenn man beim Anziehen zu eilig verfährt; Schießpulver in ein dazu bestimmtes Felsloch geschüttet und mit losem Sande bedeckt, zersprengt den Fels, wenn es angezündet wird, u. a. m.

307. Sind M und m unelastische Massen, die sich mit den Geschwindigkeiten C und c, und zwar gerade und central stoßen; so ist MC die Größe der Bewegung der ersten, mc die Größe der Bewegung der zweiten Masse, und es ist einerlei, ob M mit der Geschwindigkeit C auf m wirkt, oder ob die Kraft, welche der Masse M die Geschwindigkeit C ertheilte, unmittelbar ihre Wirkung auf m äußert. Bewegen sich nun M und m gegen einander, und es ist $MC = mc$, so ruhen beide Massen nach dem Stoße. Ist aber $MC > mc$, so bleibt von den Kräften MC und mc nach dem Stoße noch $MC - mc$, und diese Kraft muß die Masse $M + m$ nach der Richtung, welche der Masse M vor dem Stoße eigen war, fortbewegen. Geschieht dieses mit der Geschwindigkeit x, so ist

$$MC - mc = (M + m)\,x, \text{ oder } \frac{MC - mc}{M + m} = x.$$

Bewegen sich beide Massen in derselben Richtung, so muß die anstoßende Masse M der gestoßenen m Bewegung mittheilen, dadurch verliert sie aber selbst, und zwar so lange, bis beide Massen mit gleicher Geschwindigkeit fortschreiten. Heißt diese Geschwindigkeit x, so ist $MC + mc$ das Maß der Gesammtkraft vor dem Stoße, $(M + m)\,x$ dasselbe nach dem Stoße, und daher $M\,(C - x)$ der Verlust an bewegender Kraft bei der Masse M, $m\,(x - c)$ der Gewinn bei der Masse m, und

$$M\,(C - x) = m\,(x - c), \text{ oder } x = \frac{MC + mc}{M + m}.$$

Für $c = o$ wird $x = \frac{MC}{M + m}$, für $M = m$ wird $x = \frac{C + c}{2}$.

Alle möglichen Fälle stellt die Formel $x = \frac{MC + mc}{M + m}$ dar, wo c positiv oder negativ genommen wird, je nachdem es mit C der Richtung nach übereinstimmt, oder ihr entgegengesetzt ist, d. i. je nachdem sich beide Massen vor dem Stoße nach einer oder nach entgegengesetzten Richtungen bewegen.

308. Aus den Gesetzen des Stoßes für unelastische Massen lassen sich leicht jene ableiten, welche beim Stoße elastischer Körper Statt finden; man braucht nur den Einfluß der Elasticität mit in Rechnung

zu bringen. Um die Beschaffenheit dieses Einflusses einzusehen, betrachte man, was sich ereignet, wenn ein elastischer Körper an eine feste, unbewegliche Wand anstößt. Sobald der Stoß beginnt, wird der Körper zusammengedrückt, so daß sein auf der getroffenen Fläche senkrechter Durchmesser vermindert wird; dabei erleidet er dieselbe Veränderung, als wenn er fest wäre, d. i. er verliert stufenweise seine Bewegung. So wie seine Geschwindigkeit vermindert wird, läßt auch der Druck auf die Fläche nach; wenn er diese ganz eingebüßt hat, fängt er an, seine vorige Gestalt wieder anzunehmen und sich auszudehnen. Dadurch erlangt er die vorhin verlorne Größe der Bewegung von Neuem, aber nach entgegengesetzter Richtung, vorausgesetzt, daß er vollkommen elastisch ist. Wäre dieses nicht der Fall, so würde er nur einen Theil der verlornen Größe der Bewegung wieder erlangen.

309. Stoßen zwei elastische Massen (Fig. 130) M und m zusammen, so ist leicht einzusehen, daß jede für sich eine Veränderung erleidet, die jener ähnlich ist, welche vorhin angegeben wurde. Gesetzt die Massen M und m schreiten vor dem Stoße mit den Geschwindigkeiten C und c fort, wo c negativ ist, wenn m eine der M entgegengesetzte Richtung hat. Berühren sich beim Beginne des Stoßes die Massen in A, so mag B A C eine Ebene seyn, die auf der Richtung der Bewegung der Körper M und m senkrecht steht, und gegen welche der Stoß beider Massen gerichtet ist. Offenbar ist hier alles so wie vorhin (308), nur mit dem Unterschiede, daß die Ebene B A C selbst beweglich gedacht werden muß. Deßhalb wird auch die Geschwindigkeit des anstoßenden Körpers in dem Augenblicke, wo die Zusammendrückung in Ausdehnung übergeht, nur in so weit verloren gegangen seyn, bis sie der Geschwindigkeit der Ebene B A C oder des gestoßenen Körpers gleich kommt; denn in diesem Falle ist es gerade so, als wenn die anstoßende Masse und die Ebene B A C gegen einander in Ruhe wären. Ist x die Geschwindigkeit der Ebene B A C, im Augenblicke der größten Zusammendrückung beider Massen, d. h. sind bis dahin die Bewegungsgrößen M C und m c der Massen M und m in M x und m x übergegangen, so erleidet, in Folge des Ausdehnens, die Masse M den bis zur größten Zusammendrückung eingetretenen Verlust $M(C-x)$ an Bewegungsgröße noch einmal, während der Masse m der Gewinn an Bewegungsgröße $m(x-c)$ noch einmal zu Theil wird. Sind C', c' die Geschwindigkeiten der Massen M, m nach dem Stoße, so ist diesem gemäß offenbar

$$C' = x - (C - x) = 2x - C,$$
$$c' = x + (x - c) = 2x - c.$$

Aus diesen Formeln ergeben sich mehrere wichtige Folgerungen. Setzt man $M = m$, so erhält man wegen $x = \frac{C+c}{2}$ (307) $C' = c$ und $c' = C$; d. i. elastische Körper von gleicher Masse vertauschen durch den Stoß ihre Geschwindigkeiten.

Ruht die Masse m, so ist wegen $x = \frac{MC}{M+m}$ und $c = 0$,

$$C' = \frac{(M-m)C}{M+m}, \quad c' = \frac{2MC}{M+m}.$$

Der Werth von C' ist nun positiv oder negativ, je nachdem $M > m$ oder $M < m$ ist; daher werden auch die Richtungen der Bewegung des anstoßenden Körpers für die beiden Fälle einander entgegengesetzt seyn.

Aus den obigen allgemeinen Werthen für C' und c folgt

$$c' - C' = C - c,$$

d. i. die relative Geschwindigkeit beider Körper nach dem Stoße ist der relativen Geschwindigkeit vor dem Stoße gleich, aber der Richtung nach entgegengesetzt.

Dieselben Werthe von C' und c' geben:

$$MC'^2 + mc'^2 = 4x^2(M+m) - 4x(MC+mc) + MC^2 + mc^2,$$
$$= 4x[x(M+m) - MC - mc] + MC^2 + mc^2.$$

Aber es ist (307)

$$x(M+m) - MC - mc = 0; \text{ daher}$$
$$MC'^2 + mc'^2 = MC^2 + mc^2,$$

d. i. beim Stoße vollkommen elastischer Körper ist die Summe der sogenannten lebendigen Kräfte vor und nach dem Stoße gleich. Letzteres ist ein besonderer Fall des sogenannten Princips der Erhaltung lebendiger Kräfte.

Die Gesetze des Stoßes wurden fast gleichzeitig von Wallis, Huyghens und Wren 1668 entdeckt.

310. Um die Uebereinstimmung dieser Gesetze mit der Erfahrung zu prüfen, bedient man sich der sogenannten Stoßmaschine, wie sie Nollet und s'Gravesande angegeben haben. Das Wesentlichste einer solchen Geräthschaft besteht in mehreren, an gleich langen Fäden AB und CD (Fig. 131) hängenden Kugeln, die so neben einander stehen, daß ihre Körper B und D einander berühren und ihre Mittelpuncte in derselben Höhe liegen. Hinter ihnen befindet sich ein Kreisbogen EF, der von seinem untersten Puncte angefangen nach aufwärts zu beiden Seiten in Grade getheilt ist. Wird einer dieser Körper bis G gehoben und dann frei gelassen, so erlangt er beim Fallen durch den Bogen GB eine Geschwindigkeit, die man nach 286 finden, und gleich am Gradbogen selbst ein- für allemal anmerken kann. Zu Versuchen über den Stoß fester, unelastischer Körper nimmt man Massen aus trockenem Thone oder Mehlteig, für elastische wählt man Elfenbein oder Guajakholz. Hängt man mehrere elastische Kugeln von gleichem Durchmesser neben einander, hebt dann eine gewisse Anzahl auf, und läßt sie zugleich herabfallen, damit sie an die übrigen anstoßen; so fliegen auf der entgegengesetzten Seite gerade so viele weg, als auf der andern gehoben wurden. Der Grund dieser Erscheinung liegt in 309. Wählt man solche Kugeln, die von einer Seite gegen die andere beständig an Größe zunehmen, und man ertheilt der größten derselben eine gewisse Geschwindigkeit; so muß die zweite dadurch schon eine größere Geschwindigkeit erlangen, die dritte eine noch größere, und so fort bis zur kleinsten und letzten, welche die größte Geschwindigkeit haben wird.

Huyghens führt in seinem Werke *de motu corporum ex percussione* (*op. posth. Tom. II. pag.* 104) folgendes Beispiel an: Hängen 100 elastische Kugeln neben einander, deren Massen wachsen, wie die Zahlen

1, 2, 4, 8 rc., und es stößt die größte mit der Geschwindigkeit 1 an die nächstfolgende; so muß die letzte mit einer Geschwindigkeit fortfliegen, die nahe durch 233850000000 ausgedrückt wird.

311. Beim schiefen Stoße läßt sich die Wirkung der bewegten Körper immer in zwei auflösen, wovon eine für sich einen geraden Stoß gibt, während die andere gar nichts zum Stoße beiträgt. Betrachtet man daher die erstere für sich allein, und findet die Geschwindigkeit und Richtung nach dem Stoße, die daraus hervorgehen würde, setzt diese mit der vorhin außer Acht gelassenen zusammen; so erhält man die wahre Richtung und Geschwindigkeit nach dem Stoße. Gesetzt, es bewegte sich eine unelastische Masse nach der Richtung AB (Fig. 132) gegen die unbewegliche Ebene CD, und es sey ihre Geschwindigkeit durch BE ausgedrückt. Löst man BE in die mit CD parallele BF und in die auf ihr senkrechte BG auf; so sieht man, daß letztere durch den Widerstand der Ebene aufgehoben wird, und daß sich der Körper nach dem Stoße längs der CD mit der Geschwindigkeit BF fortbewegen muß. Ist der Körper elastisch, so wird im Momente des Zusammendrückens BG aufgehoben, aber im Momente der Ausdehnung eine Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung erzeugt, die bei vollkommener Elasticität des Körpers gleich BG, widrigenfalls aber kleiner ist als BG. Ist nun in der Voraussetzung des ersteren Falles BH = BG, so nimmt der Körper nach dem Stoße die Richtung der Diagonale BI des Parallelogramms BHIF, und man kann leicht beweisen, daß ABC = IBD ist. Geschähe der Stoß auf die gekrümmte Fläche KBL, so müßte dasselbe wie vorhin geschehen, wenn CD die Berührungsebene an dem getroffenen Puncte B von KL vorstellt. — Sind M und m (Fig. 133) Massen, wovon eine die Richtung Mx, die andere die Richtung my hat, so daß sie im Anfange des Stoßes die in der Figur gezeichnete Lage gegen einander haben, und stellen MA und mB die Geschwindigkeiten der Massen vor dem Stoße vor; so ziehe man durch die Mittelpuncte der Massen M und m die gerade Linie CD, und zerlege MA in die auf CD senkrechte MG und in die mit ihr parallele MD, eben so mB in mC und mH. Die Kräfte mC und MD bewirken einen geraden Stoß, wozu mH und MG gar nichts beitragen. Erlangt M durch den Stoß die Geschwindigkeit ME, so setze man sie mit MG zusammen, indem man AG bis F verlängert, so daß GF = ME wird, und es ist MF die Richtung der Masse M nach dem Stoße. Auf gleiche Weise findet man die Richtung der Masse m.

312. Der excentrische Stoß bewirkt eine fortschreitende Bewegung, die so vor sich geht, als wäre der Stoß central, überdieß aber noch eine drehende um den Mittelpunct der Masse des gestoßenen Körpers. Es ist dieß eine Folge einer allgemeinen Eigenschaft der Bewegung jedes Systemes materieller Puncte, die darin besteht, daß, wenn Kräfte auf gegebene Massen einwirken, der gemeinschaftliche Schwerpunct (Mittelpunct) derselben sich so bewegt, als ob in ihm alle Massen vereinigt wären, und die Kräfte ihren eigenthümlichen

Richtungen parallel auf ihn unmittelbar einwirkten. Man nennt diesen Satz das Princip der Erhaltung der Bewegung des Schwerpunctes.

Ueber den Stoß findet man mehr in *s'Gravesande elementa physicae. Leidae.* 1742. *Tom. I. p.* 234 *et s.* Die ersten Originalaufsätze enthalten: *Walisii tractatus de percussione. Oxon.* 1669. *Hugenii op. posth. Lugd. Bat.* 1703. *p.* 369. *et s.*

Zweites Kapitel.

Hindernisse der Bewegung und ihrer Wirkungen.

313. Die Erfahrung lehrt, daß die Bewegungen in der Natur nicht so vor sich gehen, wie es die bisher erörterten Gesetze verlangen, und es den bewegenden Kräften angemessen wäre. Der Grund hievon liegt darin, daß die Tendenz zur Bewegung hindernde Kräfte hervorruft. Die Körper sind nämlich niemals so glatt, daß wenn einer auf dem andern sich befindet, sie von einander scharf gesondert bleiben, sondern es dringen die Erhöhungen des einen in die Vertiefungen des andern ein, und sie haften dann fest an einander. Soll nun eine Bewegung des einen über den andern eintreten, so müssen die Erhöhungen losgerissen oder verschoben werden, oder der Körper muß sich heben, um die Erhöhungen seiner Unterlage zu übersteigen. Dazu ist natürlich ein bedeutender Kraftaufwand erforderlich. Dieser ist es, der die Größe des Hindernisses, das hier durch das Wort Reibung bezeichnet wird, mißt. Jeder Körper befindet sich in der Regel in der Luft, im Wasser oder in irgend einer andern Flüssigkeit, die man sein Mittel nennt. Soll er in demselben bewegt werden, so muß er das Mittel erst beseitigen oder vor sich hinschieben, mithin dessen Widerstand überwältigen. Auch dazu gehört ein beträchtlicher Kraftaufwand. Endlich wird durch Biegsamkeit, Elasticität, Adhäsion der Körper u. dgl. noch manches andere Hinderniß begründet. So z. B. wird ein schwerer kugelförmiger Körper, in Folge seiner Elasticität, flach gedrückt, und verhält sich beim Fortrollen einem Polyeder ähnlich. Elastische, biegsame oder weiche Unterlagen erhalten dieser ihrer Beschaffenheit gemäß Vertiefungen, welche dem Fortschieben der Körper auf ihnen im Wege stehen; Stricke widerstehen, vermöge ihrer Steifheit, wenn sie gerade sind, der Biegung; wenn sie gebogen sind, der Annahme einer geraden Form. Die Haupthindernisse sind aber die Reibung und der Widerstand des Mittels, und von diesen soll nun ausführlicher die Rede seyn.

314. Die Reibung äußert sich entweder an der Stelle des Körpers, auf welche die bewegende Kraft unmittelbar einwirkt, und sie vermindert deßhalb diese Kraft um einen Theil, welcher dem Widerstande an Größe gleichkommt, oder es zeigt sich die Reibung an einem Orte, der nicht in der Richtung der Kraft liegt, so daß die Reibung als eine Last auftritt, welche die Kraft mittelst einer Ma-

schine, z. B. mittelst eines Hebelarmes, zu bekämpfen hat, wobei der Verlust an Kraft geringer seyn kann, als die Größe der Reibung selbst. Man nennt die Reibung im ersten Falle die absolute, im zweiten die relative, und sieht stets die Größe der Kraft, welche ihr das Gleichgewicht hält, als ihr Maß an.

315. Ueber die Reibung hat vorzüglich Coulomb genaue und lehrreiche Versuche angestellt. Er bediente sich dazu einer Vorrichtung, die schon früher von Musschenbroek, wiewohl unvollkommener, zu gleichem Zwecke angewendet wurde, und Reibungsmesser (Tribometer) heißt. Sie besteht (Fig. 134) aus einem sehr festen, horizontalen Tisch A, auf dem der Länge nach zwei Holzstücke a befestiget sind, die über denselben beiderseits hinausragen, und auf einer Seite eine Rolle b, auf der andern einen Haspel c haben. Ueber diese Holzstücke wird eine möglichst geglättete Bohle B so gelegt, daß ihre Oberfläche genau horizontal ist. Hierauf kommt eine Schleife C zu liegen, die an jeder der zwei einander gegenüberstehenden Seiten Haken hat, wovon der eine dazu dient, um die Schnur zu befestigen, welche über die Rolle geht, und eine Wagschale zur Aufnahme derjenigen Gewichte trägt, die nöthig sind, um die Schleife über die Bohle hingleiten zu machen, der andere, um mittelst einer zweiten Schnur und des vorhin erwähnten Haspels die Schleife wieder zurückführen zu können. Um Reibungsversuche unter möglichst abgeänderten Umständen machen zu können, wählte Coulomb Bohlen von verschiedenem Materiale, besonders von Holz und Metall als Unterlage, und eben so mannigfaltige Schleifen, ließ bald beide aus demselben, bald jedes aus einem andern Stoffe bestehen, änderte das Gewicht der Schleife und die Menge der Berührungspuncte mit der Unterlage verschieden ab, ließ sie bald ungeschmiert, bald mit Schmiere versehen über einander gleiten, untersuchte die Reibung einmal gleich, nachdem die Schleife auf die Bohle gelegt worden war, dann aber einige Zeit später, nachdem sie in Berührung gekommen waren, sowohl wenn sie von Ruhe in Bewegung übergingen, als während der Bewegung selbst; er ließ die Bewegung bald mit größerer, bald mit kleinerer Geschwindigkeit vor sich gehen, und bestimmte bei jedem dieser Versuche den Reibungsexponenten, d. i. das Verhältniß des Druckes zu der Kraft, mit welcher sich der Körper zu bewegen anfing. Coulomb dehnte seine Versuche auch auf die Reibung in Pfannen aus, indem er eine Rolle mit wohl abgerundeten Zapfen in Pfannen von verschiedenem Materiale sich drehen ließ, und die Größe der Reibung bestimmte.

Viele von Coulomb's Vorgängern in der Untersuchung derselben Sache, z. B. Amontons, Bilfinger, bedienten sich dazu einer schiefen Ebene mit veränderlichem Erhöhungswinkel. Sie legten den Körper, dessen Reibung untersucht werden sollte, auf diese Ebene, und vergrößerten den Neigungswinkel so lange, bis der Körper anfing, sich abwärts zu bewegen. Heißt man diesen Winkel a, den Reibungsexponenten n, das Gewicht des Körpers P; so ist die Größe des Druckes, den der Körper auf die schiefe Ebene ausübt, $P \cos a$, mithin die Größe

der Reibung $nP\ cos\ a$, die Kraft, mit welcher er längs der schiefen Ebene hinabgetrieben wird, $P\ sin\ a$. Da nun in dem Augenblicke, wo die Bewegung beginnt, die Reibung nahe der Kraft gleich ist, mit welcher der Körper hinabzugleiten sucht; so hat man

$$P\ sin\ a = nP\ cos\ a, \text{ das ist: } n = tang\ a.$$

316. Die Resultate dieser Versuche sind folgende: 1) Die Größe der Reibung ist, bei übrigens gleichen Umständen, dem Drucke proportionirt, der Körper mag ruhen, oder sich mit was immer für einer Geschwindigkeit bewegen; nur bei faserigen Körpern nimmt die Reibung ab, wenn der Druck wächst. 2) Sie wächst mit der Zeit der Berührung, doch so, daß sie nach einer gewissen Zeit den größten Werth erlangt. Dieses geschieht bei Metall auf Metall fast augenblicklich, bei Holz auf Holz nach einigen Minuten, bei Holz auf Metall erst nach Tagen. 3) Sie ist desto größer, je rauher die sich berührenden Flächen sind; doch kann sie auch eine zu strenge Politur vermehren. Bei mäßiger Glätte ist der Reibungsexponent $^1/_3$. 4) Bei harten Körpern ist die Reibung von der Größe der Berührungsfläche unabhängig, bei weichen und faserigen wächst sie mit der Berührungsfläche. 5) Beim Uebergange aus der Ruhe in Bewegung beträgt die Reibung mehr als während der Bewegung. 6) Die Geschwindigkeit hat, wenn sie nicht sehr groß ist, keinen bedeutenden Einfluß auf die Reibung, so lange sich Holzarten oder Metalle ohne Schmiere auf einander reiben; bei Körpern verschiedener Art, z. B. bei Holz auf Metall, wächst die Reibung beinahe in einer geometrischen Progression, wenn die Geschwindigkeiten in einer arithmetischen zunehmen. 7) Gleichartige Körper reiben sich gewöhnlich stärker als ungleichartige, aber auch unter ungleichartigen findet ein bedeutender Unterschied Statt. So reibt sich z. B. Stahl am wenigsten auf Zink, mehr auf Messing, noch mehr auf Blei oder Kupfer, am meisten auf Zinn. 8) Cylindrische und runde Körper reiben sich weniger als ebene, und würden es noch weniger thun, wenn sie nicht platt gedrückt würden. 9) Holz reibt sich auf Holz minder, wenn sich die Fasern durchkreuzen, als wenn sie parallel laufen. 10) Feuchtigkeit vermehrt die Reibung der Hölzer, Hitze die der Metalle. 11) Schmiermittel vermindern die Reibung, wenn sie zweckmäßig angewendet und oft genug erneuert werden. Für verschiedene Körper thun auch verschiedene Schmiermittel die besten Dienste.

317. Aus diesen Gesetzen ergeben sich auch die Mittel, welche uns zu Gebote stehen, um die Reibung zu vermindern. Diese sind: Glätten der Oberflächen, Verminderung des Gewichtes des bewegten Körpers, so viel es andere Rücksichten zulassen, Vermeidung der Gleichartigkeit der Körper, die sich reiben, Umänderung der gleitenden Bewegung in eine rollende und zweckmäßige Anwendung der Schmiermittel. Hierauf beruhen alle Vorrichtungen, die zur Verminderung der Reibung angewendet werden, z. B. der Gebrauch der Walzen, der Reibungsrollen, der Garnet'schen Räder u. dgl. m.

Die Reibung, von einer Seite ein natürliches Uebel, ist von der anderen zu verschiedenen Zwecken nützlich. Mittelst der Reibung stehen

Körper selbst auf einer schiefen Ebene fest, es lassen sich Körper zusammennageln, zusammenschrauben, schnelle Bewegungen vermindern, wie dieses z. B. beim gewöhnlichen Anheften der Schiffe ohne Anker, beim Hinablassen schwerer Fässer in Keller geschieht. Ueber die Reibung siehe: *Architectura hydraulica* von Prony (aus dem Franz. von Langsdorf). Frankf. a. M. 1795. 1. Bd. S. 504 u. f. Metternich über die Reibung. Frankf. a. M. 1789. Bevan in den Jahrb. des k. k. polyt Institutes. Bd 17.

318. Die Größe des Widerstandes, den die gewöhnlichen Mittel, die Luft, das Wasser 2c. gegen darin sich bewegende Körper ausüben, hat man theils durch Versuche, theils durch Rechnung auszumitteln gesucht. Mit letzterer haben sich die größten Mathematiker beschäftiget, ohne jedoch bisher den Gegenstand völlig erledigt zu haben. Offenbar hängt dieser Widerstand von der Größe, Gestalt und Geschwindigkeit des bewegten Körpers und von der Dichte und dem Grade der Flüssigkeit des Mittels ab; allein die Formeln, durch welche man das Gesetz dieser Abhängigkeit ausgedrückt hat, stimmen mit der Erfahrung nicht genügend überein. So setzt man gewöhnlich, bei übrigens gleichen Umständen, den Widerstand des Mittels dem Quadrate der Geschwindigkeit des bewegten Körpers proportional. Die Erfahrung harmonirt mit diesem Gesetze nur bei mittleren Geschwindigkeiten, bei größeren und bei sehr kleinen weicht sie sehr davon ab, und zwar im ersteren Falle besonders deßhalb, weil die verdrängte Flüssigkeit auch nur mit einer gewissen Geschwindigkeit den vom bewegten Körper verlassenen Platz wieder einnimmt, und daher hinter einer sehr schnell bewegten Masse gleichsam ein leerer Raum entsteht. Dieses ist bei der Bewegung in der Luft der Fall, sobald die Geschwindigkeit des bewegten Körpers etwa 800 Fuß übersteigt.

In dem Widerstande des Mittels liegt der Grund, warum man Schiffe vorne nach der Richtung des Kieles enger werden läßt, warum ein Schnellsegler ganz anders eingerichtet seyn muß, als ein Schiff, das viel zu fassen bestimmt ist, warum ein Schiff nach der Länge so leicht, nach der Breite so schwer beweglich ist. Auch die Wirkung des Steuerruders, die Art Bewegung eines Schiffes unter der Einwirkung des Windes beruht darauf. Einem Vogel kommt sein äußerer Bau beim Fliegen, einem Fische eben derselbe beim Schwimmen sehr zu Statten; ein schnell vorwärts schreitender Mensch sucht sich, besonders wenn er gegen den Wind geht, durch Vorwärtsneigen des Kopfes dieses Vortheiles einigermaßen theilhaftig zu machen. Von Nutzen ist dieser Widerstand beim Fliegen, Schwimmen, beim Gebrauche eines Fallschirmes. Eine vortreffliche Sammlung von Untersuchungen über diesen Artikel findet man in: *Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano,* 1817. *p.*221 *e. s. Euleri scientia navalis. Petr.* 1794. *Tom. I. p.* 201 *e. s.*

319. Die hier erwähnten widerstehenden Kräfte sind, wie bereits oben erwähnt wurde, Ursache, daß die Bewegungen der Körper in der Natur oft so bedeutend von den Gesetzen abweichen, die früher aufgestellt wurden. Wenn in einer Maschine zwischen Kraft und Last Gleichgewicht herrscht, so soll, der reinen Theorie nach, jeder Zusatz zur Kraft schon eine Bewegung zur Folge haben. Dieses ist aber

nicht der Fall, und die Ursache dieser Erscheinung ist die Wirkung der widerstehenden Kräfte. Erst wenn die Kraft um so viel vermehrt worden ist, daß nach Abzug jenes Theiles, der verwendet wird, um der Last und den Hindernissen das Gleichgewicht zu halten, noch etwas übrig bleibt, erfolgt eine Bewegung. Wiewohl diese Kraft, welche man Ueberwucht zu nennen pflegt, beständig wirkt; so bekommt doch die Maschine keine gleichförmig beschleunigte Bewegung, sondern nimmt bald nach Beginn der Bewegung einen gleichförmigen Gang an. Die Ursache liegt meistens darin, daß mit zunehmender Geschwindigkeit auch die widerstehenden Kräfte wachsen.

320. Wenn eine Kraft momentan auf einen Körper wirkt, so bewegt dieser sich auch nicht gleichförmig und beständig fort, wie es seyn müßte, wenn diese Bewegung ungehindert vor sich gehen könnte, sondern er kommt nach einiger Zeit in Ruhe, nachdem seine Geschwindigkeit stufenweise abgenommen hat.

321. Der freie Fall schwerer Körper ist auch in den in der Natur vorkommenden Fällen nicht gleichförmig beschleunigt, sondern nähert sich, in einem Mittel von gleicher Dichte, der gleichförmigen Bewegung immer mehr, ohne sie doch je zu erreichen. In Mitteln von zunehmender Dichte, z. B. in der Luft, kann die Bewegung gleichförmig, ja wohl gar verzögert werden, wie wir dieses an fallenden Papierschnitzchen oder Federn sehen können. Dem Widerstande der Luft muß es auch zugeschrieben werden, daß nicht alle Körper von derselben Höhe gleich schnell zur Erde fallen; der dichtere kann den Widerstand leichter überwinden als der minder dichte, weil er unter demselben Volum, mithin bei demselben Widerstande des Mittels, mehr bewegende Kraft hat. Indeß wird selbst der dichteste Körper, wenn man ihn sehr fein zertheilt hat, nicht mehr den Widerstand überwältigen können, weil die Oberfläche eines Körpers, von welcher der Widerstand mitunter abhängt, in einem geringeren Verhältnisse abnimmt, als die Masse, durch welche er überwältiget werden soll. Hierauf beruht das Schlemmen. Die Bewegung eines schweren Körpers über eine schiefe Ebene muß offenbar noch mehr von der gleichförmig beschleunigten abweichen, weil zum Widerstande des Mittels auch noch die Reibung kommt. Ein Pendel, das ohne widerstehende Kräfte ein wahres mobile perpetuum abgeben könnte, verliert diesen Vorzug bloß durch die Einwirkung solcher Kräfte. Es wird nämlich durch den Widerstand der Luft und durch die Reibung an der Axe dahin gebracht, daß es, wenn es auch von C (Fig. 119) herabgefallen, nicht wieder bis H steigt, und noch weniger wieder bis C zurückkommt. Es beschreibt vielmehr immer kleinere Bögen, bis es endlich ganz in Ruhe kommt. Man kann aber doch bei zweckmäßiger Einrichtung die Bewegung mehrere Stunden anhaltend machen.

322. Daß die Elemente der Bahn eines geworfenen Körpers anders ausfallen, als die Theorie angibt, bestätiget die Erfahrung nur gar zu sehr. Es ist aber hier schwierig, alle Hindernisse, z. B. die Reibung einer losgeschossenen Kugel an den Wänden des Rohres und

den Widerstand der Luft, gehörig in Rechnung zu bringen; doch kann man leicht einsehen, daß der absteigende Arm der Wurflinie merklich stärker gekrümmt seyn müsse als der aufsteigende, daß die Wurfhöhe und Wurfweite hinter der berechneten zurückbleiben werde, und daß nur bei hinlänglich dichten Massen eine mäßige Annäherung der Erfahrung an die Theorie zu erwarten sey. Auch die größte Wurfweite findet nicht bei einem Elevationswinkel von 45° Statt, sondern bei einem viel kleineren.

Drittes Kapitel.

Bewegungsgesetze tropfbar flüssiger Körper. (Hydrodynamik.)

323. Daß tropfbare Flüssigkeiten den bewegenden Kräften folgen, und daß, wenn einmal eine Bewegung bestimmter Art hervorgebracht ist, diese nach den allgemeinen Bewegungsgesetzen geschehen müsse, ist für sich klar, und in sofern wäre über die Bewegung solcher Flüssigkeiten nichts weiter zu sagen. Allein die Verschiebbarkeit der Theile und die dadurch begründete Fortpflanzung eines einseitigen Druckes nach allen Richtungen macht, daß bei Flüssigkeiten Bewegungen geschehen, wo bei festen Körpern Gleichgewicht wäre, und daß überhaupt Bewegungen im Innern der Flüssigkeit entstehen, die von der Bewegung der ganzen Masse verschieden sind. Diese inneren Bewegungen erschweren die Theorie der Bewegung tropfbarer Körper ungemein, und ließen sie bis jetzt nicht zu jener Vollkommenheit gelangen, welcher sich die Theorie der Bewegung fester Körper erfreut. Daher kann auch hier nur das Allgemeinste entwickelt werden, um so mehr, da die weitere Ausführung auf ziemlich verwickelte Rechnungen führt.

324. Versuche über die Bewegung flüssiger Körper stellt man am besten mit gläsernen, wo möglich durchaus gleich weiten Gefäßen an, deren Wände vertical, deren Boden horizontal steht. Man muß sowohl am Boden, als an den Seiten in jeder Höhe Oeffnungen von beliebiger Größe anbringen, sie wieder verschließen, wohl auch Röhren von verschiedener Gestalt und Länge daran setzen können.

325. Es sey ACDB (Fig. 135) ein solches Gefäß, mit Wasser bis CD gefüllt. Sobald EF oder GH geöffnet wird, muß Wasser herausfließen, und diesem wieder neues nachfolgen. Dadurch muß natürlich auch die Oberfläche sinken, und überhaupt eine Bewegung in der ganzen Masse entstehen. Wenn das vorhergehende Wasser so schnell ausweicht, als das darüberstehende folgen will, so erfolgt gar kein Druck der Wassermassen auf einander, und alles geht so, wie beim freien Falle vor sich; fließt aber das vorausgehende Wasser nicht so schnell, als das folgende fließen will, so drückt diese Masse auf jene, es entsteht ein Gegendruck und, weil die Theile auszuweichen suchen, auch ein Druck auf die Seitenwände. Daher werden die der Ausflußöffnung zunächst liegenden Theilchen durch ihre Schwere und

durch den Druck der darüber stehenden Säule beschleuniget, und der Ausfluß erfolgt schneller, als im freien Falle. Jene Säule drückt aber nicht mit ihrem ganzen Gewichte, weil sie selbst im Sinken begriffen ist, sondern desto weniger, je mehr sich ihre Geschwindigkeit der von der Schwere allein bedingten nähert. Man nennt diesen Druck den hydrodynamischen, zum Unterschiede vom hydrostatischen, welchen ruhende Flüssigkeiten ausüben. Die Oberfläche des Wassers bleibt, wenn die Oeffnung EF gegen die Weite des Gefäßes sehr klein ist, selbst während des Sinkens immer horizontal, nur in der Nähe des Bodens fängt das Wasser an, eine trichterförmige Vertiefung (Strudel) zu bekommen. Diese rührt aber von einer Seitenbewegung der Theile der Flüssigkeit in der Nähe der Oeffnung her; denn wenn man kleine Stücke Bernstein ins Wasser gibt, so bemerkt man, daß sie anfangs in verticaler Richtung sinken, in der Nähe der Oeffnung aber in einer krummlinigen Bewegung gegen dieselbe einlenken und mit einander convergiren, die Oeffnung mag am Boden oder an der Seitenwand angebracht seyn.

326. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser in einem prismatischen Gefäße an der Oberfläche CD sinkt, muß sich zu der, mit welcher es durch die Oeffnung EF fließt, verhalten, wie der Querschnitt EF zum Querschnitte CD; denn wenn das Wasser in einer Zeiteinheit von CD bis LM gekommen ist, so muß das Volum CLMD dem durch EF in derselben Zeit fließenden ENOF gleich seyn, d. i. $CL . CD = EF . EN$ oder $CL : EN = EF : CD$, wo CL und EN die Geschwindigkeiten bedeuten. Kennt man die Querschnitte EF und CD, so läßt sich aus der Geschwindigkeit in CD auf die in EF ein Schluß machen. Dieses gewährt bei Versuchen einen großen Vortheil, indem sich der Raum, welchen das Wasser in CD zurücklegt, leichter beobachten läßt als in EF. Man versieht deßhalb das 324 erwähnte Gefäß der Höhe nach mit einer Zollscale, beobachtet bei Versuchen das Sinken der Oberfläche CD, und berechnet hieraus die Geschwindigkeit in EF.

327. Ist der Querschnitt des Wasserbehälters so groß gegen jenen der Ausflußöffnung, daß man das Wasser im Gefäße während des Ausflusses als ruhig ansehen kann; so wird das Elementartheilchen EHKF (Fig. 136) der Flüssigkeit durch den hydrostatischen Druck der Säule EILF beschleuniget, und erlangt, während es den Weg HE zurücklegt, die Ausflußgeschwindigkeit c. Ist G die Geschwindigkeit, welche die Masse EHKF am Ende der Zeiteinheit haben würde, wenn die bewegende Kraft so lange mit ungeänderter Intensität fortwirkte, so hat man nach der Formel (5) in 276, $c = \sqrt{2G . HE}$. Der Ausdruck der bewegenden Kraft selbst ist (nach 33) G . EHKF. Allein diese Kraft ist das Gewicht der Säule EILF, mithin wenn g die Acceleration der Schwere anzeigt $= g . EILF$. Es besteht also die Gleichung $G . EHKF = g . EILF$, mithin ist wegen Gleichheit der Dichten und der Grundflächen beider Massen $G . HE = g . IE$. Diesem gemäß wird, wenn man die Druckhöhe $IE = a$ setzt, $c = \sqrt{2ga}$.

Es ist demnach die anfängliche Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers schon so groß, als wäre es vom Wasserspiegel bis zur Ausflußöffnung herabgefallen. — Ist es wegen verhältnißmäßig zu großer Ausflußöffnung nicht gestattet, das Wasser im Behälter als ruhig anzusehen, so sey die Ausflußgeschwindigkeit $= \gamma$, der Querschnitt des Behälters $= B$, jener der Ausflußöffnung $= b$. Die Geschwindigkeit des Wassers im Behälter ist nun (326) $= \frac{b}{B}\gamma$. Erlaubt man sich annäherungsweise $\gamma = c - \frac{b}{B}\gamma$ zu setzen, so hat man

$$\gamma = \frac{Bc}{B+b} = \frac{B}{B+b}\sqrt{2ga.}$$

328. Die ausfließende Wassersäule hat nicht einerlei Querschnitt mit der Ausflußöffnung, sondern sie zieht sich gleich beim Austritte aus dem Behälter zusammen, und erreicht in einiger Entfernung davon den kleinsten Durchschnitt. Dieses rührt ohne Zweifel davon her, daß nicht bloß das verticale ober der Oeffnung stehende Wasser ausfließt, sondern daß sich auch das seitwärts befindliche zum Ausflusse hindrängt, und daher in schiefer Richtung herabsteigt. Die Größe der Zusammenziehung des ausfließenden Strahles hängt zum Theile von der Größe der Ausflußöffnung und der Druckhöhe, hauptsächlich aber von der Dicke des Bodens ab.

Bei einem dünnen Boden beträgt der Querschnitt des zusammengezogenen Strahles $^5/_8$tel von jenem der Oeffnung, dei einem dicken Boden $^{13}/_{16}$tel, oder endlich gar $^{30}/_{31}$stel, wenn an der Oeffnung eine kurze nach außen sich erweiternde Röhre angesetzt ist. Nach Schitko ist der Coutractions-Coefficient $= \sqrt{\left(0{,}38 + 0{,}62\,\frac{b}{B}\right)}$.

329. Das in einer Zeiteinheit ausfließende Wasservolum V wird erhalten, wenn man in der Formel für die Ausflußgeschwindigkeit γ an die Stelle von b den kleinsten Querschnitt des Wasserstrahles setzt. Dieser ist $= \mu b$, wenn μ den Contractions-Coefficienten vorstellt. Man hat dem gemäß

$$V = \frac{\mu B b}{B + \mu b}\sqrt{2ga.}$$

Dieses Wasservolum fließt wiederholt in jeder Zeiteinheit aus, sobald der Behälter durch einen Nachfluß beständig voll erhalten wird, und die ausfließende Wassermenge wächst demnach mit der Dauer des Ausflusses im geraden Verhältnisse. Hat der Behälter keinen Nachfluß, so nimmt die Ausflußgeschwindigkeit fortwährend ab, so wie die Quadratwurzel der Druckhöhe abnimmt, und es fließt in einer bestimmten Zeit nur halb so viel Wasser ab, als wenn der Behälter immer gleich voll geblieben wäre.

Ist die ganze Seitenwand ABCD (Fig. 137) eines Gefäßes offen, und wird dasselbe durch einen Nachfluß beständig gleich voll erhalten, so findet man die Ausflußmenge des Wassers auf folgende Weise: Man denke sich von jedem Puncte der AC eine horizontale Linie, welche

die Geschwindigkeit des Wassers in dem dazu gehörigen horizontalen Schnitte der Oeffnung ausdrückt, und verbinde die Endpuncte dieser Linien. Auf gleiche Weise wird man mit jeder Linie verfahren können, die einem horizontalen Schnitte der Oeffnung entspricht, und man wird eine krumme Fläche A G K B erhalten, in welcher alle Endpuncte der Linien liegen, welche die Geschwindigkeiten ausdrücken. Die Krümmung dieser Fläche wird parabolisch seyn. Denn ist C G die Geschwindigkeit des Wassers in der Horizontalen C D, E H die in E F; so hat man: $CG = \sqrt{2g.AC}$, $EH = \sqrt{2g.AE}$, mithin $CG^2 : EH^2 = AC : AE$. Dieses deutet an, daß A H G eine Parabel sey, und da dieses für jeden Punct in C D und E F gilt, so muß auch A G K B die genannte Krümmung haben. — Hiernach ist man im Stande, den Wasserkörper A C G K B zu berechnen, der in einer Zeiteinheit durch A B C D fließt; denn es ist $ACG = \frac{2}{3} AC.CG$, daher $ACGKB = \frac{2}{3} AC.CG.CD = \frac{2}{3} AC.CD \sqrt{2g.AC}$.

330. Ist die Ausflußöffnung an der Seitenwand des Gefäßes angebracht, so haben die in verschiedenen, horizontalen Schichten liegenden Wassertheile, schon wegen ihrer verschiedenen Entfernung von der Oeffnung, eine verschiedene Geschwindigkeit. Ist die Oeffnung gegen diese Entfernung klein, so kann man die Entfernung ihres Schwerpunctes von der Oberfläche der Flüssigkeit für die mittlere Druckhöhe ansehen, und die Geschwindigkeit darnach berechnen, darf aber auch hier nicht den Einfluß der Zusammenziehung des Strahles übersehen. Die Bewegung des bereits außerhalb des Behälters befindlichen Wassers ist aber dann mit der eines schweren, nach einer horizontalen Richtung geworfenen Körpers einerlei; denn der Seitendruck treibt das Wasser horizontal fort, während es die Schwere vertical abwärts zieht. Deßhalb ist die Bahn eines solchen Strahles eine Parabel.

331. Wasser, das von einem Behälter durch Röhren abgeleitet wird, soll mit einer Geschwindigkeit ausfließen, welche dem Höhenunterschiede des Wasserspiegels im Behälter und der Ausflußöffnung entspricht. Aber da es nebst dem Widerstande, den es beim Austritte aus dem Behälter erfährt, noch einen andern durch Reibung an den Röhrenwänden erleidet, welcher im verkehrten Verhältnisse des Durchmessers der Röhren und im geraden ihrer Länge steht, überdieß auch noch von der Geschwindigkeit des Wassers abhängt, und wie das Quadrat derselben wächst; so fällt diese Geschwindigkeit viel kleiner aus, besonders wenn die Röhrenleitung Krümmungen hat. Mehrere Gelehrte, wie z. B. Eytelwein, Prony, Navier und Girard, haben diese Geschwindigkeit durch Versuche und Rechnung auszumitteln gesucht. Unter diesen hat vorzüglich der Letztere den Fall berücksichtiget, wo eine Flüssigkeit durch sehr enge Röhren geleitet wird, und gefunden, daß das Resultat verschieden ausfalle, je nachdem die Flüssigkeit die Röhrenwand benetzt oder nicht. Im letzteren Falle hört die Flüssigkeit auf, durch ein Röhrchen auszufließen, sobald der Druck bis zu einer gewissen Größe vermindert worden ist, die von der Weite und Länge der Röhre abhängt. Die Geschwindigkeit verschiedener Flüs-

sigkeiten, welche die Röhrenwände benetzen, ist auch selbst bei einerlei Druck verschieden, und wird durch Temperaturerhöhung sehr bedeutend vergrößert. Bei einem Versuche floß Wasser von nahe 100° C. aus einer Glasröhre beinahe viermal schneller ab, als solches, dessen Temperatur nahe an 0° C. war.

332. Ist die Ausflußöffnung an einer aufwärts gebogenen Röhre angebracht, so soll das Wasser mit einer Geschwindigkeit hervorspringen, welche von der Höhe der drückenden Wassersäule abhängt, und bis zur Oberfläche des Wassers im Behälter emporspringen. Weil aber diese Geschwindigkeit theils durch die Adhäsion an die Ränder der Oeffnung, theils durch die Seitenbewegung der Wassertheile, sogar durch den Druck der wieder zurückfallenden Tropfen vermindert wird; so bleibt der hervorspringende Strahl stark unter dieser Höhe zurück. Je mehr man die genannten Hindernisse vermindert, um so höher wird der Strahl steigen, ohne doch je die durch Rechnung angegebene Höhe zu erreichen. Deßhalb ist die Sprunghöhe geringer, wenn die Ausflußöffnung an einer cylindrischen Röhre, als wenn sie an einer dünnen Platte angebracht ist; höher, wenn der Strahl etwas von der verticalen Richtung abweicht, als wenn er ganz vertical emporsteigt. Deßhalb gibt es auch für jede Wasserhöhe ein gewisses Maß der Oeffnung, wobei der Strahl die größte Höhe erreicht. Merkwürdig ist die Gestalt eines Wasserstrahles, der aus der kreisförmigen Oeffnung einer dünnen Wand emporschießt. Man unterscheidet da leicht zwei Theile, den äußeren, die Ränder der Oeffnung berührenden, und den inneren. Ersterer bildet einen Rotationskörper von ungleichen Querschnitten, ist ruhig und durchsichtig gleich einem Glasstabe, letzterer unruhig, undurchsichtig, und aus einer Anzahl durch gleiche Zwischenräume getrennter Anschwellungen bestehend, wovon die größte einen Querschnitt hat, der jenen der Ausflußöffnung übertrifft. (Pogg. Ann. 29. 353; 31. 124.)

333. Bisher wurde bei der Betrachtung der bewegenden Kraft des Wassers auf den Luftdruck keine Rücksicht genommen, und dieses kann auch geschehen, so lange man es mit Behältern zu thun hat, wo der Luftdruck auf den Wasserspiegel und die Ausflußöffnung gleich groß ist. Gestattet eine zu große Entfernung des Wasserspiegels vom Ausgusse dieses nicht, so nimmt die Druckhöhe um eine Säule von solcher Höhe ab, daß sie dem Uebergewichte des Luftdruckes auf die Ausflußöffnung das Gleichgewicht hält. Auf solche Weise vermindert der Luftdruck die Menge des in einer bestimmten Zeit ausfließenden Wassers. Es gibt aber auch Fälle, wo er diese Ausflußmenge vergrößert, wenn nämlich der Ausfluß durch eine nach außen sich erweiternde Röhre geschieht. Ist A (Fig. 138) der Wasserbehälter, a b c d die Ansatzröhre; so sucht der Wasserdruck in dem Querschnitte a b und c d dieselbe Geschwindigkeit zu erzeugen. Aber durch die größere Oeffnung c d fließt in einer Zeiteinheit mehr Wasser als durch a b, und es würde demnach zwischen a b und c d ein leerer Raum entstehen, wenn nicht der Luftdruck ein schnelleres Nachfließen durch a b bewirkte und so die Aus-

flußmenge vermehrte. Daß dieses so sey, erkennt man, wenn man an der Ausflußröhre einen abwärts gerichteten, ins Wasser reichenden Ansatz e anbringt; denn da wird das Wasser in demselben aufgesaugt.

334. Wenn fließendes Wasser die ganze, der Druckhöhe entsprechende Geschwindigkeit hat, so übt es gar keinen Druck auf den Behälter aus; so wie aber seine Geschwindigkeit kleiner wird, als die Druckhöhe verlangt, entsteht ein Druck auf das Gefäß von innen nach außen; überschreitet die Geschwindigkeit die der Druckhöhe entsprechende Größe, so werden die Gefäßwände gar einwärts gedrückt. Man kann demnach bei einem Gefäße, welches fließendes Wasser enthält, durch Vermindern, Vermehren oder Aufheben der Geschwindigkeit des Ausflusses den Druck auf die Gefäßwände vermehren, vermindern oder gar der Richtung nach umkehren. Auf einer solchen Veränderung des Druckes beruht der sogenannte Stoßheber.

Der Stoßheber (Fig. 139) besteht aus einer hinreichend langen, horizontalen Röhre A, die an einem Ende mit einem höher gelegenen Wassergefäße B in Verbindung steht, am andern Ende aber sich in einen Heronsball C mittelst einer Klappe a mündet, die sich vom Inneren der Röhre nach außen öffnet. Nahe dabei und außerhalb des Heronsballes hat sie ein zweites, einwärts sich öffnendes Ventil b, das sich durch sein eigenes Gewicht öffnet. Sobald das Wasser vom Behälter in die Röhre tritt und sie anfüllt, stößt es an die letztgenannte Klappe und schließt sie; dadurch verwandelt sich der hydraulische Druck in einen hydrostatischen, und das Wasser wird in den Stand gesetzt, die Klappe am Heronsballe zu öffnen, hineinzudringen, und die Luft daselbst zu verdichten. Dabei geht es aber vermöge der Trägheit weiter, als das Gleichgewicht fordert; der Theil außer dem Heronsballe geht daher wieder zurück, und wird dabei von den beiden zurückfallenden Klappen, besonders von der äußeren, unterstützt, kehrt, wie ein Pendel, wieder gegen die Klappen hin, es dringt wieder ein Theil in den Heronsball und fangt an in die Höhe zu springen u. s. f.

335. Fließendes Wasser übt gegen einen darin festgehaltenen Körper einen Druck aus, dessen Größe sich bestimmen läßt. Erfolgt derselbe nach einer auf die gedrückte Fläche senkrechten Richtung, so wird er durch den Druck einer Wassersäule gemessen, deren Basis dieser Fläche gleich, und deren Höhe die der Geschwindigkeit des Wassers entsprechende Fallhöhe ist. Heißt demnach die Größe der gedrückten Fläche A, die Geschwindigkeit des Wassers c, die Acceleration der Schwere g; mithin die zu c gehörige Fallhöhe $\frac{c^2}{2g}$, so ist die Größe des Druckes $= \frac{Ac^2}{2g}$. Einen schiefen Druck kann man nach 311 behandeln.

Ist die Fläche des Körpers viel größer als der gegen selbe sich bewegende Wasserstrahl, so fließt das Wasser schon in einiger Entfernung von dieser Fläche auf einer krummen Bahn ab, und der senkrechte Druck ist nahe doppelt so groß, als nach der vorhergehenden Rechnung. Auf diesen Gesetzen beruht die Theorie der unterschlächtigen Wasserräder, die Form der Brückenpfeiler rc. Mehr hierüber in hy-

draulischen Werken: Lehrbuch der Hydraulik von Langsdorf. Altona, 1795. Eitelwein's Lehrbuch der Mechanik und Hydraulik. Berlin, 1824. *Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano,* 1818. Gerstner's Handbuch der Mechanik. Prag, 1832. 2. Bd.

Viertes Kapitel.

Bewegungsgesetze ausdehnsamer Körper (Aërodynamik).

336. Die Bewegungsgesetze ausdehnsamer Flüssigkeiten sind den für tropfbare Körper aufgestellten in vielen Stücken ähnlich, im Ganzen aber doch schwieriger zu entwickeln als diese, und minder leicht einer populären Darstellung fähig. Strömt ein Gas aus einer Oeffnung, welche an der dünnen Wand seines Behälters angebracht ist, in einen luftleeren Raum heraus; so wird seine Geschwindigkeit wie die eines tropfbaren Körpers berechnet, nur mit dem Unterschiede, daß die dieser Geschwindigkeit entsprechende Druckhöhe nicht die der wirklichen Gassäule ist, sondern jene, welche Statt finden würde, wenn man die ganze Gasmasse auf die Dichte reducirte, welche sie an der Ausflußöffnung hat. Strömt z. B. atm. Luft aus einem Gefäße in einen leeren Raum; so muß man, um jene Reduction machen zu können, den Barometerstand b, die Dichte D des Quecksilbers und die Dichte d der Luft an der Ausflußöffnung kennen. Heißt die zu findende Höhe x, so ist $d:D = b:x$ und $x = \frac{Db}{d}$, und daher die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft ausströmt, $\sqrt{\frac{2gDb}{d}}$. Diese Formel gibt natürlich auch die Ausflußgeschwindigkeit in einen leeren Raum für jedes andere Gas an, dessen Dichte an der Ausflußöffnung durch d ausgedrückt wird und das unter dem Drucke b steht. Es verhalten sich daher diese Geschwindigkeiten bei verschiedenen Gasen verkehrt, wie die Quadratwurzeln ihrer Dichten. Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Gas in ein anderes hineinströmt, läßt sich nicht auf so einfache Weise bestimmen. Indeß kann man doch die Differenz der Druckhöhen, deren eine dem ausströmenden Gase, die andere demjenigen entspricht, in welches jenes hineinströmt, als die Größe ansehen, welche statt x in obige Formel gesetzt, die gesuchte Geschwindigkeit gibt. Ein Gas, das in den bereits von einem andern Gase erfüllten Raum strömt, hat eine kleinere Geschwindigkeit, als wenn jener Raum leer wäre (252), doch wird diese Verminderung der Geschwindigkeit nicht durch eine positive Gegenwirkung des Gases hervorgebracht, sondern nur durch Verengung der Ausströmungsöffnung.

337. Wenn man die Resultate dieser Berechnungen mit den Ergebnissen directer Versuche vergleicht, wie sie Schmidt (Gilb. Ann. 66. 39), d'Aubuisson (*Ann. de Ch.* 34. 380) u. a. angestellt haben; so findet man, daß jene eine viel größere Geschwindigkeit geben

als diese. Nach Schmidt beträgt die wirkliche Geschwindigkeit nur 0,52 von der berechneten, wenn die Ausflußöffnung an einer dünnen Wand angebracht ist, wächst aber auf 0,6, wenn man die dünne Platte mit einer etwa 1 Zoll langen cylindrischen Röhre vertauscht. Eine conische Röhre gibt eine noch größere Geschwindigkeit; die größte eine solche, deren äußere Durchmesser sich wie 1 : 2 verhalten, und deren Länge den Durchmesser fünf- bis zehnmal übertrifft. Die Ursache dieser Differenz zwischen der berechneten und der durch Versuche gefundenen Geschwindigkeit liegt ohne Zweifel in einer Zusammenziehung des Luftstrahles, welche der des Wasserstrahles (328) ähnlich ist. D'Aubuisson hat den Querschnitt des zusammengezogenen Strahles bei einer dünnen Wand gleich 0,65, bei einer cylindrischen Ansatzröhre = 0,93, bei einer conischen = 0,95 von dem Querschnitte der Oeffnung gefunden.

338. Auch die Bewegung der Gase in Röhrenleitungen stimmt mit der des Wassers beinahe ganz überein. Girard und Cagniard-Latour haben mit mehreren Gasen Versuche hierüber angestellt (*Mém. de l'Acad.* 5. 383), und dabei gefunden, daß atmosphärische Luft und Kohlenwasserstoffgas, ungeachtet ihrer verschiedenen Dichte, sich in Röhren nach demselben Gesetze bewegen und denselben Widerstand erleiden, und daß dieser Widerstand dem Quadrate ihrer mittleren Geschwindigkeit proportionirt ist. Die Gasmengen, welche Röhrenleitungen liefern, stehen im geraden Verhältnisse mit dem Drucke, den sie im Gasbehälter erleiden, und im verkehrten mit der Quadratwurzel der Länge der Leitungsröhren. Nur beim Ausfluß aus capillaren Oeffnungen zeigen Gase besondere Eigenthümlichkeiten. Nach Faraday's Versuchen (*Quart. Journ. of. sc.* 3. 354; 7. 106 und Pogg. Ann. 28. 355) strömt bei hohem Drucke ein bestimmtes Volum Wasserstoffgas schneller aus, als öhlbildendes Gas, bei niederem aber findet das Gegentheil Statt, wenn der Ausfluß durch enge Röhrchen, diese mögen von Glas oder Metall seyn, geschieht. Beim Ausfluß aus feinen, an Papier, Platinblechen &c. gemachten Ritzen und Löchern findet diese Verschiedenheit nicht Statt, sie zeigt sich aber desto mehr, je langsamer die Gase ausströmen. Dieses scheint nicht bloß von der Verschiedenheit der Dichte der Gase abzuhängen, sondern von irgend einer anderen mechanischen Eigenschaft derselben.

339. Wenn Luft aus einem Gefäße ausströmt, so sucht der Druck auf die der Ausflußöffnung gegenüberstehende Wand dieselbe fortzubewegen. Ist das Gefäß leicht nach der Richtung dieses Druckes beweglich, so kann man sich auch durch die wirklich eintretende Bewegung vom Daseyn eines solchen Druckes überzeugen. Das Zurückstoßen der Gewehre und Kanonen beim Losfeuern, die Rotation der sogenannten Schwärmer, das Steigen der Raketen &c., beruht darauf.

340. Die Ursache, welche in einer Luftmasse eine Bewegung erzeugt, ist Aenderung der Expansivkraft, die selbst wieder durch eine Aenderung der Dichte oder der Temperatur hervorgebracht wird. Daher kommt die Bewegung der Luft aus Blasbälgen, der Luftzug in

Kaminen, bei Feuersbrünsten, der beständige Luftwechsel in unseren Zimmern zur Winterszeit ꝛc.

341. Wenn verdichtete Luft aus einer Oeffnung ausströmt und einen gegenüberstehenden Körper, z. B. eine leicht bewegliche Platte trifft; so sollte man wohl erwarten, daß diese vom Luftstrome fortgestoßen werde. Dieses ist auch wirklich der Fall, wenn der Ausfluß aus einer frei stehenden Röhre erfolgt; ist aber an die Röhre nächst der Ausflußöffnung eine Platte angesteckt, der eine leichte Platte in geringer Entfernung gegenüber steht, beide von einem Durchmesser, welcher den der Oeffnung weit übertrifft; so wird diese Platte gegen die Oeffnung hingetrieben; nur bei größerer Entfernung der Platten geschieht das Gegentheil, und die bewegliche Platte folgt dem aus der Röhre hervortretenden Luftstrome. Diese Erscheinung, welche man das aërodynamische Paradoxon nennen kann, hat denselben Grund wie die Vermehrung der Ausflußmenge des Wassers durch eine conische Ansatzröhre (333). Auch da fließt durch die ringförmige Oeffnung mehr Luft ab, als durch die enge Oeffnung an der Wand des Gefäßes vermöge des inneren Luftdruckes nachfolgen kann, und es würde ein luftleerer Raum zwischen der Wandöffnung und der Platte entstehen, wenn die äußere Luft nicht die letztere gegen die Platte triebe und den ringförmigen Raum verminderte. Von der Wirklichkeit dieses Herganges überzeugt man sich mittelst des Apparates (Fig. 140), wo die Ausflußröhre A seitwärts eine heberförmige, Quecksilber enthaltende Röhre a zur Bestimmung der etwaigen Aenderung des Luftdruckes und die Deckelplatte B eine eben solche b zu demselben Zwecke hat, überdieß sind aber noch an der Wand C, längs welcher die ausströmende Luft hinstreicht, drei in Wasser reichende Röhren angebracht. Beim Ausströmen von Luft zeigt die Bewegung des Quecksilbers in a und b, daß innerhalb dieser Röhre der Luftdruck größer ist als auswärts, aber in den Röhren c, d, e steigt das Wasser und zwar in c mehr als in d, in d mehr als in e, zum Beweise, daß zwischen den Platten der Druck kleiner als von außen sey.

Aehnliche Erscheinungen bewirkt auch eine Vermehrung der Geschwindigkeit eines strömenden Gases, welche die der Druckhöhe entsprechende Größe überschreitet; denn da wird der sonst auf die Gefäßwände nach auswärts gerichtete Druck in einen nach einwärts gerichteten verwandelt (334). Man sieht dieß an dem Apparate Fig. 141. Dieser bestehet aus einem Gefäße AB, an dessen einem Ende B eine enge, am anderen A eine viel weitere Röhre angesetzt ist, während unten eine heberförmige, Quecksilber enthaltende Röhre angebracht ist. Bläst man durch die weitere Ansatzröhre in das Gefäß, so steigt das Quecksilber im äußeren Heberschenkel; thut man dieses durch die engere Röhre, so sinkt das Quecksilber in selbem. (Schweigg. Journ. 53. 304. Pogg. Ann. 15. 310.) Hieher gehören auch die Erscheinungen, welche ein aus einer Röhre hervortretender, gegen eine Wand gerichteter Luftstrom zeigt, die sich mit Hülfe einer Lichtflamme nachweisen lassen, deren Richtung jene der bewegten Luft angibt. Wird z. B. ein Luftstrom durch die Röhre A (Fig 142) gegen die Wand BC geblasen, so weicht eine Lichtflamme in E oder F gegen die Wand hin ab, und man findet so, daß nicht, wie man beim ersten Anblicke vermuthet

hätte, der gegen die Wand geblasene Luftstrom von derselben abprallt, sondern vielmehr das Gegentheil erfolgt, daß aber der Luftstrom längs der Wand nach der Richtung BC hingleitet.

342. Der Druck, welchen bewegte Luft gegen ein Hinderniß ausübt, ist im Allgemeinen wie jener des Wassers (335) zu beurtheilen. Man darf aber dabei nicht vergessen, daß man es mit einer ausdehnsamen Flüssigkeit zu thun habe, die beim Anstoßen verdichtet wird und sich hierauf wieder ausdehnt, und sowohl in diesem als in jenem Falle gleich einem elastischen Körper auf den gestoßenen Körper wirkt. Indeß ist man hierin noch nicht, weder auf dem Wege der Rechnung, noch auf dem der Erfahrung, völlig ins Reine gekommen, und letztere lehrt oft ein Verhalten beim Stoße der Luft, das man aus unseren theoretischen Untersuchungen nicht abzuleiten im Stande ist. Auf dem Gesetze des Luftstoßes beruht die Richtung der Wetterfahnen, die der Segel eines Schiffes, die Zweckmäßigkeit im Baue der Pflanzen, welche Windstöße auszuhalten haben 2c. 2c.

Fünftes Kapitel.

Wellenbewegung im Allgemeinen und Gesetze des Schalles insbesondere.

343. Werden die Theile eines Körpers durch irgend eine störende Ursache aus der denselben im Zustande des Gleichgewichtes eigenen Lage gebracht, ohne jedoch hiebei die Grenzen der Stabilität des Gleichgewichtes zu überschreiten, so treten Kräfte auf, welche die Körpertheile gegen ihre früheren Positionen hinzuführen streben, und denen zu Folge diese Theile, sich selbst überlassen, um jene Positionen sich herumbewegen, oder wie man in einem solchen Falle zu sagen pflegt, Schwingungen oder Vibrationen machen. Ist die schwingende Bewegung mit einer Aenderung der relativen Stellung der Körpertheile verbunden, so heißt sie Wellenbewegung (im weiteren Sinne des Wortes) zum Unterschiede von der Pendelbewegung, bei welcher keine Aenderung der relativen Lage der schwingenden Körpertheile obwaltet.

Die Betrachtung der Wellenbewegung hat für den Physiker die größte Wichtigkeit. Die Wahrnehmungen, die wir mittelst des Gehörorganes machen, werden, wie sich strenge beweisen läßt, durch schwingende Bewegung schallender Körper hervorgerufen, welche das Medium, wovon dieses Organ umgeben ist, in Wellenbewegung versetzen, wodurch dieses Organ selbst afficirt wird. Die Erscheinungen des Lichtes und der strahlenden Wärme lassen sich nach gehöriger Beachtung wohl begründeter Thatsachen nicht anders als durch die Voraussetzung der Wellenbewegung eines imponderablen Mediums begreifen: die Analogie macht es wahrscheinlich, daß auch andere Wirkungen, die man der Bewegung unwägbarer Stoffe zuzuschreiben pflegt, eine ähnliche Erklärung gestatten. An dem gegenwärtigen Orte, wo lediglich wägbare Stoffe in Betrachtung kommen, kann nur von der Anwendung

der Gesetze der Wellenbewegung auf die Erscheinungen des Schalles die Rede seyn; die Wellenbewegung unwägbarer Stoffe bleibt dem folgenden Theile vorbehalten: den dort vorzutragenden Lehren werden die Ergebnisse der Untersuchung der Wellenbewegung wägbarer Stoffe zur Grundlage dienen.

344. Es lassen sich zwei Arten der Wellenbewegung unterscheiden. Bei der einen pflanzt sich die schwingende Bewegung gewisser Körpertheilchen, auf welche die störende Ursache unmittelbar eingewirkt hat, zu den benachbarten Theilen fort; die Theile des Körpers schwingen also nach einander, so daß die Anordnung, welche diese Körpertheile, ihren Bewegungszuständen zufolge, in irgend einem Augenblicke zeigen, von einem Orte zum anderen fortzuschreiten scheint. Diese Art der schwingenden Bewegung heißt die *fortschreitende Schwingung*; sie ist *Wellenbewegung* im eigentlichen Sinne des Wortes (*Undulation*). Bei der anderen Art der Wellenbewegung werden die Schwingungen der Theile eines Körpers gleichzeitig vollbracht, und wenn auch der Körper sich in mehrere schwingende Partien abtheilt, zwischen welchen Uebereinstimmung herrscht, so geht doch nicht der Zustand des einen Theiles auf den andern über, sondern es sind diese Theile durch ruhende Stellen von einander getrennt. Eine solche Bewegungsart heißt *stehende Schwingung* (*Oscillation*). Die genauere Betrachtung dieser zwei Schwingungsformen wird noch präcisere Unterscheidungsmerkmale derselben an die Hand geben. Sie finden beide sowohl an festen als flüssigen Körpern Statt, und es können die Kräfte, welche die Bewegungen der Körpertheilchen bestimmen, sowohl *innere*, nämlich die Molecularkräfte seyn, also die Elasticität des Körpers in das Spiel treten, oder dabei vornehmlich äußere Kräfte, insbesondere die Schwere, sich thätig erweisen, welcher Fall bei biegsamen Körpern und bei tropfbaren Flüssigkeiten vorkommt.

Zu den durch die Elasticität der Körper bedingten Schwingungen gehören jene der *schallenden* und *schallfortpflanzenden* Körper; es wird jedoch bei der folgenden Untersuchung der Wellenbewegung die Beziehung derselben zu unserem Gehörorgan vor der Hand bei Seite gesetzt, was jedoch nicht hindert, einige Hülfsmittel der Forschung, die sich auf diese Beziehung gründen, zu benützen; am Schlusse dieses Kapitels wird das Phänomen des Schalles selbst Gegenstand der Erörterung seyn.

A. Fortschreitende Schwingung.

345. Eine fortschreitende Schwingung oder eigentliche Wellenbewegung entsteht, wenn das innere Gleichgewicht eines Körpers *theilweise* aufgehoben wird. Dieß hat zur Folge, daß nach und nach auch die Theile, welche die störende Ursache nicht unmittelbar getroffen hat, vermöge der Wechselwirkung, die zwischen jedem einzelnen Theilchen und denen die es umgeben obwaltet, in Bewegung gerathen. Zunächst beruht die Wechselwirkung zwischen den Theilchen eines Körpers jederzeit auf den Molecularkräften, die sie gegen einander äußern,

es mögen nun diese Kräfte für sich schon mit einer gewissen Energie beschäftigt seyn, wie bei einem starren festen Körper in seinem natürlichen Zustande, oder ihre Energie lediglich dem Umstande verdanken, daß die Körpertheilchen durch äußere Kräfte, als Druck, Spannung, Schwere ꝛc., einander näher gebracht oder von einander entfernt und dadurch erst die Molecularkräfte geweckt worden sind. Jedenfalls hängt die Kraft, womit ein Molekel A auf ein zweites Molekel B einwirkt, von der Stellung des einen gegen das andere ab, und es ist die Action von A auf B mit einer gleichen und der Richtung nach entgegengesetzten Action von B auf A verbunden. Befindet sich A im Zustande des Gleichgewichtes, so wird die Kraft, womit jedes benachbarte Theilchen das erstere afficirt, durch die Gesammtwirkung der übrigen aufgehoben, und damit dieses obwalte, muß A in Bezug auf seine Umgebung einen gewissen Platz einnehmen. Wird nun A von diesem Platze verschoben, so ändern die Kräfte, die es von den benachbarten Theilchen erfährt, ihre Richtungen und Größen; diese Kräfte heben einander nicht mehr auf, sondern ihre Gesammtwirkung reducirt sich auf eine Resultirende, von welcher A zur Bewegung angetrieben wird. Allein indem sich die Action von B auf A ändert, geht eben dasselbe auch mit der Action von A auf B vor sich; es wird daher auch das Gleichgewicht von B gestört, und B geräth in Bewegung. Ein gleiches kann von den übrigen Theilchen in der Umgebung von A gesagt werden. Die Störung des Gleichgewichtes dieser letzteren zieht eben so die Störung des Gleichgewichtes anderer Theilchen nach sich; auf diese Art entsteht eine Bewegung, welche von einem Orte des Körpers zum andern sich fortpflanzt und an einer entfernteren Stelle noch Statt finden kann, nachdem die ursprüngliche Thätigkeit, welche die Störung veranlaßte, aufgehört hat, und die zuerst bewegten Theilchen wieder in ihre vorigen Stellungen des Gleichgewichtes zurückgekehrt sind.

346. Wenn das Gleichgewicht der Theile eines Körpers an einer Stelle gestört wird, so nehmen dieselben die Bewegung an, die ihnen die störende Ursache aufdringt; ihr Zustand und in Folge dessen auch die auf die benachbarten Theile übergehende Bewegung trägt das Gepräge der ursprünglichen, d. h. von der störenden Ursache unmittelbar ausgehenden Einwirkung an sich. Allein die Fortpflanzung dieser Bewegung beruht lediglich auf der Art der Verbindung, in der die Körpertheile stehen, daher kann die ursprüngliche Form der Bewegung, nach der Beschaffenheit des Körpers, worin die Fortpflanzung Statt hat, mannigfaltig modificirt werden. Es ist daher nöthig, die Fortpflanzung der Bewegung in verschiedenen Körperformen und unter dem Einflusse verschiedener Kräfte abgesondert zu untersuchen. Doch nimmt die Wellenbewegung in allen Fällen, in je größere Entfernungen von dem Ursprunge der Bewegung sie vorgedrungen ist, um so mehr einen constanten Charakter an, und befolgt Gesetze, die von der Art der anfänglichen Erregung der Bewegung unabhängig sind, und theils auf theoretischem, theils auf experimentalem Wege aufgefunden werden können.

347. Um den Hergang der Wellenbewegung an einem passenden Beispiele zu zeigen, und die Auffassung mehrerer dabei in Erwägung kommenden Begriffe zu erleichtern, betrachten wir zuerst die Fortpflanzung einer partiellen Erschütterung in einem cylindrischen oder prismatischen, aus einem nach allen Richtungen gleich elastischen Stoffe bestehenden Körper von geringem Querschnitt aber großer Länge, und nehmen an, daß die Körpertheilchen durchgehends bloß nach der Richtung der Länge, oder wie man zu sagen pflegt, in longitudinalem Sinne in Bewegung gesetzt werden. Ein solcher Körper ist z. B. eine gespannte Saite, ein Stab von Metall, Glas, eine Luftsäule u. dgl. Um einen bestimmten Fall vor Augen zu haben, sey AZ, Fig. 143, eine Röhre, worin sich Luft befindet, und es werde in dieselbe ein Stempel so eingeschoben und wieder zurückgezogen, daß er nur den sehr kleinen Weg AB hin und zurück durchläuft. Dadurch kommen offenbar alle in einem auf die Axe der Röhre senkrechten Querschnitte liegenden Lufttheilchen in einerlei Zustand; durch die Bewegung eines derselben ist daher die Bewegung des ganzen Querschnittes gegeben. Wiewohl der Stempel ohne Unterbrechung von A nach B und wieder von B nach A gelangt, so kann man sich doch seine Wirkung auf die Luftsäule als aus einer Reihe von Stößen zusammengesetzt denken, weil sich die kleinste Bewegung des Stempels alsogleich der Luft mittheilt und ungemein schnell in derselben fortgepflanzt wird, so daß letztere für einen gleich darauf folgenden Stoß als ruhig anzusehen ist. So wie nun die Stempelfläche über A, wenn auch noch so wenig hinaustritt, stoßt sie auf die Luftsäule, verdichtet die zunächst an ihr liegenden Lufttheilchen; diese thun dasselbe mit den Lufttheilchen in der zweiten, der wirkenden Fläche parallelen Schichte, eben so wirkt die zweite Schichte auf die dritte, u. s. f., zugleich wird diesen Theilchen eine ihrer Verdichtung proportionirte Geschwindigkeit nach der Richtung ihrer Bewegung mitgetheilt. Bliebe nun auch die bewegte Fläche in ihrer dermaligen Lage, so müßte die Verdichtung der Lufttheilchen gleichförmig weiter rücken und immer neue Theilchen treffen, so wie sich der Stoß in einer Reihe elastischer, einander berührenden Kugeln von gleichen Massen fortpflanzt. Dieses Fortschreiten kann aber nur nach der Richtung AZ erfolgen, wiewohl die verdichteten Theile nach allen Seiten einen gleichen Druck ausüben; denn seitwärts werden sie durch die Wände der Röhre gehindert, und rückwärts kann sich die Verdichtung nicht fortpflanzen, weil die Tendenz der Theilchen, vermöge ihrer Verdichtung nach rückwärts zu gehen, durch die ihnen schon mitgetheilte Geschwindigkeit nach vorwärts aufgehoben wird. So wie die Stempelfläche noch weiter von A wegrückt, wiederholt sie die vorige Wirkung, ertheilt den ihr anliegenden, bereits wieder zur Ruhe gekommenen Lufttheilchen abermals eine Verdichtung, welche sich auch, wenn diese Bewegung der Fläche unmittelbar auf die vorhergehende folgt, an die erste verdichtete Schichte unmittelbar anschließt und mit ihr fortrückt. Dieses geht so fort, bis die genannte Fläche in B anlangt, wo ihre Geschwindigkeit zu Ende ist. Diese

ganze verdichtete Luftmasse, welche durch die Excursion der Stempelfläche von A bis B entstanden ist, vertritt die Stelle der bewegten Fläche, und erzeugt vor sich eine eben so lange zweite verdichtete Partie, diese eine dritte u. s. f. Beim Zurückgehen der Fläche von B nach A entsteht eine verdünnte Luftmasse, und diese fällt auf denselben Platz, den vorher die verdichtete einnahm; sie pflanzt sich nach derselben Richtung fort, wie die verdichtete Masse, und entfernt sich demnach immer mehr von B, wiewohl die Lufttheilchen eine entgegengesetzte Richtung haben und sich gegen B hin bewegen. Auf solche Weise erzeugt der Hin- und Hergang des Stempels in der Luftsäule eine verdichtete und eine eben so lange verdünnte Partie, wovon sich jene unmittelbar an diese anschließt und in sie übergeht. Beide zusammen machen eine Welle aus. Die Länge beider Stücke zusammengenommen, heißt die Länge der Welle. Nehmen wir an, der Stempel lege, einem schwingenden Pendel ähnlich, die erste Hälfte AC seines Hinganges mit beschleunigter, die andere Hälfte BC aber mit verzögerter Bewegung zurück, und ein gleiches thue er auch in derselben Ordnung bei dem Rückgange, so daß in A und B seine Geschwindigkeit = o, in C aber am größten erscheint. Ferner sey am Ende einer gewissen Zeit, vom Ursprunge der Bewegung an gerechnet, die erste Einwirkung des Stempels in A auf die Luftsäule AZ bis M, die Einwirkung in B bis N, und die zweite Einwirkung in A, am Ende des Rückganges, bis P fortgepflanzt worden, also NM der verdichtete und PN der verdünnte Theil der Welle, deren Länge PM ist. Unter der so eben bezüglich der Bewegung des Stempels gemachten Voraussetzung hat NM in M und N die natürliche, in der Mitte Q aber die größte Dichte, so daß diese von Q gegen die Enden M und N hier immer kleiner wird; eben so haben die Theile des Wellenstückes NM (nicht die Welle selbst) in M und N die kleinste, in der Mitte Q die größte Geschwindigkeit. Auf gleiche Weise hat der verdünnte Theil PN der Welle in N und P die natürliche Dichte und die kleinste Geschwindigkeit, in der Mitte bei R aber die kleinste Dichte (größte Verdünnung) und die größte Geschwindigkeit. Der verdichtete Theil NM und der verdünnte PN der Welle PM haben streng genommen nicht gleiche Längen; ersterer ist um die ganze Excursion AB des Stempels kleiner, als der Weg, den die Verdichtung der Luft während des Hinganges des Stempels von A nach B zurücklegt, letzterer um eben so viel größer, als der Weg der Verdünnung der Luft während des Zurückgehens des Stempels. Die Länge PM der ganzen Welle ist demnach dem Wege genau gleich, den die Verdichtung (oder Verdünnung) der Luft während eines Hin- und Herganges des Stempels durchlauft. Macht jedoch der Stempel bloß eine Bewegung in dem Sinne AB ohne zurückzugehen, so findet keine verdünnte, sondern bloß eine verdichtete Welle Statt; eben so entsteht bloß eine verdünnte Welle, wenn man bloß eine Bewegung des Stempels im Sinne BA voraussetzt. Denkt man sich an der Stelle des Stempels eine Scheidewand in einer nach beiden Seiten sich erstreckenden Luftsäule, und läßt man diese Scheidewand eine kleine Rü-

ckung vollbringen, so entsteht nach der einen Seite hin eine verdichtete und nach der anderen eine verdünnte Welle. Statt des Stempels oder der Scheidewand kann man jede andere Ursache der Verschiebung der Lufttheile, einen Stoß, eine Explosion u. dgl. setzen, und gelangt dadurch zu ähnlichen Resultaten.

348. Wenn man die Geschwindigkeit c, mit welcher irgend eine Einwirkung auf die Luft sich in einer cylindrischen Säule derselben fortpflanzt, nach den so eben vorgetragenen Principien bestimmt, was mit Hülfe der höheren Analysis geschehen kann, so erhält man dafür, welches auch immer diese Einwirkung seyn mag, die einfache Formel $c = \sqrt{\frac{E}{D}}$, wobei E die Expansivkraft, d. h. den Druck der Luft auf die Flächeneinheit, und D die Dichte der Luft anzeigt. Diesem gemäß ändert sich c bei constanter Temperatur nicht, wenn auch der Barometerstand sich ändert, denn das Mariotte'sche Gesetz lehrt, daß in diesem Falle das Verhältniß der Expansivkraft zur Dichte der Luft dasselbe bleibt. Anders verhält sich aber die Sache, wenn bei constanter Expansivkraft der Luft die Dichte sich ändert. Gelten nämlich die obigen Größen c und D für 0° C., und nennen wir die Werthe, welche dieselben bei der Temperatur T annehmen c' und D', so ist

$$c = \sqrt{\frac{E}{D}},\ c' = \sqrt{\frac{E}{D'}} \text{ und nach 231, } D' = \frac{D}{1 + \alpha T}$$

wobei α der Ausdehnungscoefficient der Luft ist, folglich hat man

$$c' = \sqrt{\frac{E(1 + \alpha T)}{D}} = c\sqrt{1 + \alpha T}$$

Man kann der Formel $c = \sqrt{\frac{E}{D}}$ noch eine andere Gestalt geben. Man denke sich den Druck E, unter dem eine Luftsäule von der Höhe = 1 steht, um das Gewicht dieser Luftsäule vermehrt, so wird dadurch, wenn die Luft bloß nach der Länge der Säule ausweichen kann, diese Länge um eine Größe, die k heißen mag, verkürzt. Geben wir der Säule die Basis 1, so ist Dg ihr Gewicht (52), wobei g die Acceleration der Schwere anzeigt, und es ist $E : E + Dg = 1 - k : 1$ oder $E : Dg = 1 - k : k$ also $\frac{E}{D} = \frac{g(1-k)}{k}$ und demnach $c = \sqrt{\frac{g(1-k)}{k}}$. Wegen der Kleinheit von k im Vergleiche mit 1 kann man auch $c = \sqrt{\frac{g}{k}}$ gelten lassen. Unter dieser Gestalt ist die Formel auf die Fortpflanzung einer longitudinalen Verschiebung an einer gespannten Saite, an einem prismatischen oder cylindrischen Stabe und in einer Säule tropfbarer Flüssigkeit anwendbar. Man braucht also nur zu untersuchen um wie viel sich die Länge eines Stückes = 1 der Saite, des Stabes, der Flüssigkeit ändert, wenn es in seinem gegenwärtigen Zustande durch sein eigenes Gewicht nach Erforderniß gedehnt oder zusammengedrückt wird. Dividirt man die Acceleration der Schwere durch diese Aenderung, und sucht die Quadratwurzel des Quo-

tienten, so hat man die Geschwindigkeit der Fortpflanzung einer longitudinalen Einwirkung auf diese Körper.

Die erste Auflösung der hier besprochenen Aufgabe hat Newton gegeben. Nach ihm haben sich die größten Mathematiker, insbesondere Euler, Lagrange, Laplace und Poisson mit diesem Gegenstande beschäftiget.

349. Was in einer cylindrischen Luftsäule vorgeht, deren Theile in longitudinaler Richtung verschoben worden sind, dasselbe kann auch in freier Luft bei beliebiger Erschütterung eines Theiles derselben Statt finden. Man denke sich in einem Raume eine Explosion, z. B. durch Knallluft, so werden die Lufttheile auswärts getrieben, und gehen sodann, den entstandenen leeren Raum ausfüllend, wieder einwärts. Von jedem Puncte der Begrenzung dieses Raumes geht auf diese Weise ringsum eine Verdichtung und Verdünnung aus, die, wenn die Luft nach allen Richtungen von einerlei Beschaffenheit ist, allenthalben nach der normalen Richtung gleich schnell fortschreitet, jeder dieser Puncte erzeugt also eine oder mehrere kugelförmige Wellen, deren Mittelpunct er ist, je nachdem er bloß einmal oder mehrere Male auf die Luft einwirkt. Die Bewegung der Lufttheilchen in jeder solchen Welle geschieht nach der Richtung des Halbmessers hin und her, jede Seitenbewegung wird durch den Widerstand der in gleichem Zustande der Verdichtung oder Verdünnung befindlichen Lufttheilchen verhindert. Jede einzelne Welle ist dem gemäß als eine hohle, von concentrischen Flächen umschlossene Kugelschale anzusehen, deren jede selbst wieder aus zwei concentrischen Theilen besteht, in deren einem die Luft verdichtet, im anderen verdünnt ist. Alle von den einzelnen Puncten der Begrenzung des Raumes, wo die Erregung der Bewegung Statt fand, ausgehenden Wellen (Elementarwellen) setzen sich zu einer einzigen (wirksamen) Welle zusammen, welche gleichsam alle einzelnen in sich enthält, und, wenigstens in größerer Entfernung von diesem Raume im Vergleiche mit seinen Dimensionen als eine Kugelschale betrachtet werden darf, als deren Centrum irgend ein Punct des genannten Raumes gelten kann. Die Dicke einer solchen Schale ist die Länge der Welle. Diese ändert sich während ihrer Erweiterung nicht, sondern es nimmt nur die Größe der Verdünnung oder Verdichtung ab. Wenn man sich innerhalb der beiden Grenzflächen einer solchen Welle eine mit ihr concentrische Kugelfläche denkt, so sind alle auf ihr befindlichen Theile in demselben Grade verdichtet oder verdünnt, es kann daher kein Theil derselben seitwärts ausweichen und eben so wenig zurückgehen; daher bleibt nur die Bewegung nach vorwärts und rückwärts übrig, und jedes Theilchen pflanzt seine Bewegung nach der Richtung eines Halbmessers der Kugelfläche fort.

350. Der Umstand, daß unser Gehörorgan von einer hinreichenden Erschütterung der Luft afficirt wird, und diese als Schall wahrnimmt, gibt ein leichtes Mittel an die Hand, die theoretischen Ergebnisse über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Erschütterung der Luft mit der Wirklichkeit zu vergleichen. Erfahrungen dieser Art macht

man am besten Nachts, mittelst Abfeuern von Kanonen, indem man die Zeit mißt vom Augenblicke, wo man das Licht aus einer gemessenen Entfernung sieht, bis zu dem, wo man den Schall hört, und sie mit der Entfernung vom Orte der Explosion vergleicht. Man hat dabei auf die Stärke und Richtung des Windes wie auch auf Wärme und Feuchtigkeit der Luft die genaueste Rücksicht zu nehmen, weil diese einen Einfluß auf die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung ausüben. Auf diese Weise zeigt sich die Geschwindigkeit des Fortschreitens einer Erschütterung der Luft bei 0° C. nach den genauesten Versuchen = 1050 W. Fuß in der Secunde.

Solche Versuche hat man schon in der zweiten Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts unternommen, und sie von dieser Zeit bis auf unsere Tage öfters wiederholt. Allein es blieb noch immer Manches zu wünschen übrig, besonders weil man nie im Stande war, Resultate zu erhalten, die vom Einflusse des Windes ganz frei waren. Die in dieser Hinsicht genügendsten Versuche sind jene, welche im Jahre 1823 von Moll (Zeitsch. 1. 213.) und Anderen angestellt wurden, wo man an jedem Endpuncte einer genau gemessenen Linie in demselben Augenblicke eine Kanone abfeuerte, die Zeit vom Augenblicke der Lichterscheinung bis zum Vernehmen des Schalles an beiden Stationen beobachtete, und so auf einmal zwei Resultate erhielt, deren eines durch den Einfluß des Windes vergrößert, das andere eben dadurch verkleinert war, deren Mittelwerth aber als von diesem Einflusse nahe frei angesehen werden konnte. Es ergab sich daraus, daß der Schall bei einer Temperatur von 0° C. und in ganz trockener atm. Luft in gleichförmiger Bewegung in einer Secunde 332.244 Meter oder nahe 1050 W. F. zurücklegt. (Pogg. Ann. 5. 351, 469; 19. 115.) Diese Geschwindigkeit kommt dem Schalle in der Luft unter den gegebenen Umständen zu, man mag seine Ausbreitung nach oben oder in horizontaler Richtung betrachten; denn bei den von Stampfer und Myrbach (Jahrb. des polyt. Inst. Bd. 7.) angestellten Versuchen hatten die beiden Standpuncte der Beobachter einen Höhenunterschied von 4198 P. F., und doch fand man ein dem vorigen sehr nahes Resultat. (333.2 Meter.) Auch der reflectirte Schall hat nach Gregory's Versuchen (Zeitsch. 1. 215) mit dem directen einerlei Geschwindigkeit. Der Wind beschleunigt ihn nach desselben Versuchen um seine eigene Geschwindigkeit, wenn er mit ihm geht, und verzögert ihn um eben so viel, wenn er ihm entgegen kommt. In feuchter Luft bewegt sich der Schall schneller als in trockener, wie Goldingham in Madras ganz außer Zweifel gesetzt hat. Den größten Einfluß auf die Geschwindigkeit des Schalles hat die Wärme, indem sie das Verhältniß der Expansivkraft zur Dichte der Luft, von dem allein die Fortpflanzungsgeschwindigkeit abhängt, modificirt. Alle anderen Umstände haben auf die Geschwindigkeit des Schalles keinen wahrnehmbaren Einfluß.

In festen und tropfbaren Körpern geht die Fortpflanzung des Schalles im Einklange mit der obigen Formel schneller vor sich, wie durch die atm. Luft. Biot fand sie in einer eisernen Röhre $10\frac{1}{2}$mal schneller. Chladni fand durch ein sehr sinnreiches Mittel, welches erst später erklärt werden kann, die Geschwindigkeit des Schalles im Zinn $7\frac{1}{2}$mal, im Silber 9mal, im Kupfer nahe 12mal, im Glas 17mal, in gebranntem Thon 10—12mal, in verschiedenen Hölzern 11—17mal schneller als in der atm. Luft. Colladon und Sturm fanden die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser des Genfer Sees durch directe Versuche bei 8° C. 1. gleich 1435 M., also über 4mal größer als in der

Luft. Im Eise und im Wasser von 0° C. fand man die Schallgeschwindigkeit gleich groß. Man hat auch die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Gasen untersucht, und das Gesetz bestätiget gefunden, daß sie sich nach dem Verhältnisse der Expansivkraft zur Dichte, also bei gleichen Temperaturen nach der specifischen Expansivkraft derselben richte. Dulong fand, daß der Schall bei 0° C. in einer Secunde im Sauerstoffgas 317,17 Meter, im Wasserstoffgas 1269,5 M., im Kohlensäuregas 261,6 M., im Kohlenoxydgas 387,4 M., im Stickstoffoxydgas 261,9 M., im Oehlgas 314 M. zurücklege. (Zeitschr. 6. 502.) Allein wenn man die numerischen Werthe, wie sie die theoretische Formel liefert, mit den Resultaten der Erfahrung vergleicht, so zeigt sich ein namhafter Unterschied. So gibt die Formel für die Schallgeschwindigkeit in der Luft nur 279,29 Meter, also nahe um $\frac{1}{6}$ weniger, als wirkliche Versuche. Die Ursache dieses Unterschiedes liegt, wie Laplace zuerst bemerkt hat, darin, daß man bei der Deduction dieser Formel nicht darauf Rücksicht genommen hat, daß sich die Luft bei der Verdichtung erwärmt, also eine größere Expansivkraft bekommt, und sich beim Verdünnen erkältet, mithin eine geringere Expansivkraft erlangt. Da nun die beschleunigende Kraft, wodurch die Fortpflanzung erzeugt wird, in dem Unterschiede der Expansivkraft der verdichteten oder verdünnten Luft gegen die Expansivkraft der in ihrer natürlichen Dichte befindlichen liegt, und dieser Unterschied bei der verdichteten Luft durch Erwärmung, bei der verdünnten durch Erkältung erhöht wird; so muß in erwähnter Formel der Werth von E vergrößert werden. Es lassen sich Mittel ausfindig machen, die Vergrößerung von E zu bestimmen, ohne die durch die Erfahrung gegebene Geschwindigkeit des Schalles in der Luft dabei zu benützen. Die darnach geführte Rechnung stimmt mit der Erfahrung hinreichend überein, um die Richtigkeit der Laplace'schen Behauptung außer Zweifel zu setzen.

351. Das Gleichgewicht der Theile einer gespannten Saite, eines Stabes u. dgl. kann auch durch transversale, d. h. senkrecht auf die Richtung der Länge angebrachte Verschiebung dieser Theile gestört werden, was ebenfalls zu einer Wellenbewegung Veranlassung gibt. Es sey AB, Fig. 144, eine gespannte Saite oder Schnur, und es seyen die Theile eines Stückes AC ein wenig seitwärts gezogen. Werden diese sich selbst überlassen, so müssen sie sich nothwendig gegen ihre frühere Lage hinbewegen. Während sie dieses thun, werden die Theile des nächsten Stückes CD seitwärts gezogen, die ihrerseits wieder die Theile eines folgenden Stückes seitwärts ziehen, dagegen das Stück AC hindern, über die Gleichgewichtslage nach der entgegengesetzten Seite auszuweichen. So entsteht eine an der Schnur fortlaufende transversale Ausbeugung, welche dem verdichteten Theile einer longitudinalen Welle analog ist. Theoretischen Untersuchungen zufolge wird die Fortpflanzungsgeschwindigkeit c einer solchen transversalen Welle an einer cylindrischen durch das Gewicht q gespannten Saite, deren Länge = l, und deren Gewicht = p ist, durch die Formel $c = \sqrt{\frac{g l q}{p}}$ ausgedrückt. Die Uebereinstimmung derselben mit der Erfahrung ist durch der Brüder Weber sorgfältige Versuche außer Zweifel gesetzt. Da dieser Ausdruck von jenem, welcher die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer longitudinalen Welle angibt, verschieden ist,

so folgt daraus, daß wenn die ursprüngliche Verschiebung eines Theiles einer Saite eine schiefe ist, so daß man selbe in einen longitudinalen und in einem transversalen Antheil zerlegen kann, sich zwei Wellen, eine longitudinale und eine transversale, bilden müssen, die gesondert von einander mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortschreiten.

352. Die Fortpflanzung einer partiellen Erschütterung in einer Luftmasse, wie selbe in 349 betrachtet wurde, ist nur ein besonderer Fall dessen, was in einem Inbegriffe von materiellen Theilchen, die durch Molecularkräfte zusammengehalten werden, vor sich gehen kann. So wie an einer gespannten Saite irgend eine schiefe Ausbeugung sich in eine longitudinale und in eine transversale Welle spaltet, weil sich Schwingungen der einen und der andern Art an der Saite nicht gleich schnell fortpflanzen, eben so findet in einem elastischen Körper, allgemein zu reden, eine Theilung der Bewegungen Statt, weil ein solcher Körper nicht geeignet ist, jede Art von Verschiebung seiner Theilchen auf einerlei Weise fortzupflanzen, ja es gibt Fälle, in welchen er zur Fortpflanzung gewisser schwingenden Bewegungen gar nicht geeignet erscheint. Alles dieses hängt von der Anordnung der materiellen Theilchen in Hinsicht auf ihre Massen, ihre Distanzen, und die Kräfte, denen sie unterliegen, ab, was durch neuere analytische Untersuchungen, wie sie Fresnel und besonders Cauchy angestellt haben, in volles Licht gesetzt worden ist. Unkrystallinische Substanzen, wie auch nach dem tessularen Systeme krystallisirte Stoffe sind so gebildet, daß eine Verschiebung der Theilchen, die darin fortgepflanzt wird, sich nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit verbreitet. In diesem Falle sagt man, das Medium habe nach allen Richtungen einerlei Elasticität. In krystallisirten Substanzen, deren Grundgestalt vom Würfel abweicht, pflanzen sich schwingende Bewegungen derselben Art nach verschiedenen Richtungen mit verschiedener Geschwindigkeit fort, und man sagt von solchen Stoffen, sie zeigen eine veränderliche Elasticität. Begreiflich hat dieser Umstand auf die Gestalt der Fläche, welche die Orte der gleichzeitigen Ankunft der von einer erschütterten Stelle ausgehenden Vibrationen mit einander verbindet, welche Fläche man die Wellenfläche nennt, einen großen Einfluß. Nur in so fern die Fortpflanzungsgeschwindigkeit nach allen Richtungen dieselbe Größe hat, entsteht eine sphärische Welle. Im Allgemeinen bleibt die Gestalt der Wellenfläche während ihre Ausbreitung der Art nach dieselbe, diese Fläche also sich selbst stets ähnlich. Darf man die Größe des Raumes, worin die ursprüngliche Erschütterung Statt findet, nicht als sehr klein betrachten, so muß man jeden Punct desselben oder wenigstens seiner Begrenzung als einen besonderen Mittelpunct der Erschütterung ansehen, der seine eigene Wellenfläche erzeugt. Der Inbegriff aller, einem gegebenen Augenblick entsprechenden Wellenflächen bestimmt den Raum, wohin die Bewegung in diesem Augenblicke vorgedrungen ist.

353. Ist ein Medium nach allen Richtungen gleich elastisch, so können sich in demselben, falls überhaupt eine Fortpflanzung der

schwingenden Bewegung darin möglich ist, nach jeder gegebenen Richtung nur zweierlei Schwingungsarten fortpflanzen. Entweder schwingen die Theilchen des Mediums längs dieser Richtung, d. h. sie gehen in geraden Bahnen, die in diese Richtungen fallen, hin und her, und die Schwingung heißt longitudinal, oder sie beschreiben beliebige Bahnen, die in einer auf der Fortpflanzungsrichtung senkrechten Ebene liegen, und die Schwingung heißt transversal. Jeder dieser Schwingungsweisen gehört, da sie mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortgepflanzt werden, eine eigene kugelförmige Wellenfläche. Eine willkürliche Bewegung eines Theilchens des Mediums kann man hinsichtlich jeder Fortpflanzungsrichtung in eine longitudinale und in eine transversale zerlegen. Weil beiden Bewegungsarten verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten zukommen, so werden sie sich im ersten Augenblicke trennen und abgesondert fortschreiten. Daher bringt im Allgemeinen eine willkürliche Erschütterung des Mediums, bei dessen hier vorausgesetzter Beschaffenheit, zwei getrennte sphärische Wellen hervor, in deren einer longitudinale, in der anderen transversale Vibrationen Statt finden. Die longitudinalen Schwingungen geschehen, den Ergebnissen der Rechnung gemäß, mit Verdichtungen und Verdünnungen des Mediums; die transversalen sind mit keiner merklichen Aenderung der Dichte verbunden.

354. Wendet man den höheren Calcul auf den Fall an, wenn ein Medium nach verschiedenen Richtungen verschiedene Elasticität besitzt, jedoch die Anordnung seiner Theilchen hinsichtlich entgegengesetzter Richtungen eine übereinstimmende ist, eine Annahme, die sich mit der Bildungsform der zu den verschiedenen einarigen Systemen (159, 161) gehörenden Krystalle verträgt, so ergibt sich die Folgerung, daß hinsichtlich jeder Fortpflanzungsrichtung nur dreierlei, mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortschreitende Schwingungen Statt haben können, bei deren jeder die Theilchen des Mediums geradlinige auf einander wechselweise senkrechte Bahnen beschreiben. Von diesen Schwingungen erfolgt eine longitudinal, d. h. genau oder wenigstens nahe nach der Richtung der Fortpflanzung der Bewegung, die beiden anderen aber sind transversale. Zwei transversale Schwingungsweisen, die in regelmäßigen, mit einander in einem gewissen Gegensatze der Lage stehenden Bahnen vor sich gehen, nennt man in Beziehung zu einander polarisirte; sind die Bahnen unregelmäßig, so heißen sie unpolarisirte. Es finden daher in dem vorliegenden Falle polarisirte und zwar geradlinig polarisirte Schwingungen Statt, zum Unterschiede von solchen transversalen Schwingungen, bei denen die Theilchen des Mediums kreisförmige oder elliptische Bahnen beschreiben, und die dann circular oder elliptisch polarisirte heißen. Letztere, welche, je nachdem sie vom Ursprunge der Bewegung angesehen von der Linken gegen die Rechte, oder umgekehrt vor sich gehen, mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortschreiten, treten in krystallinischen Medien auf, deren Theilchen nicht längs entgegengesetzten Richtungen übereinstimmend gestellt sind,

sondern eine andere, jedoch reguläre Anordnung haben, z. B. eine schraubenförmige, worauf gleichfalls die Bildung gewisser Krystallformen, namentlich jene des Quarzes oder Bergkrystalls hindeutet. Es ist wohl zu merken, daß unkrystallinische oder tessular krystallisirte Medien ebenfalls geradlinige oder circular oder elliptisch polarisirte Schwingungen fortzupflanzen vermögen, denn sie sind fähig, jede beliebige transversale Schwingung fortzupflanzen, während in den übrigen krystallinischen Medien lediglich polarisirte transversale Schwingungen sich ungeändert erhalten, andere transversale Schwingungen aber sogleich in polarisirte zerfallen. Unter den krystallinischen Medien, die nicht nach allen Richtungen einerlei Elasticität zeigen, pflanzen die rhomboedrischen und pyramidalen doch nach den Richtungen, die in einer senkrecht auf der Krystallaxe stehenden Ebene sich befinden, die Schwingungen gleich schnell fort. In diesem Falle sind die Wellenflächen, welche den drei geradlinigen Schwingungsweisen entsprechen, im Allgemeinen concentrische Rotationsellipsoide, deren Rotationsaxe mit der Krystallaxe parallel lauft, und es geht eine der transversalen Schwingungen in der durch die Fortpflanzungsrichtung und die Krystallaxe gelegten Ebene vor sich. In so fern die Beschaffenheit des Mediums gewissen Bedingungen Genüge leistet, verwandelt sich eines der Ellipsoide in eine Kugel. Der Ausdruck für die Wellenfläche bei der allgemeinsten Beschaffenheit eines krystallisirten Mediums ist complicirt, nimmt aber unter gewissen Hypothesen über die Anordnung der Theilchen des Mediums eine einfachere Form an. Ueber die Zuläßigkeit solcher Hypothesen entscheidet die Vergleichung der darauf sich gründenden Folgerungen mit der Erfahrung. Beispiele hievon werden an einem anderen Orte (in der Lehre vom Lichte) vorkommen.

355. Ein sehr fruchtbares Hilfsmittel bei der Untersuchung der Fortpflanzung einer schwingenden Bewegung in einem Systeme materieller Theilchen ist die Zusammensetzung und Zerlegung der Schwingungen. Aus der Form der Grundgleichungen, welche die Analysis für die schwingende Bewegung aufstellt, ergibt sich die Folgerung, welche übrigens, ihrer Einfachheit wegen, kaum eines Beweises zu bedürfen scheint, daß, wenn durch das Zusammentreffen von Wellen zwei oder mehrere Bewegungsarten bis zu einem bestimmten Körpertheilchen fortgepflanzt werden, dieses gerade diejenige Bewegung annimmt, welche aus der Zusammensetzung der einzelnen Bewegungsarten hervorgeht; so wie umgekehrt, jede Schwingungsweise eines Körpertheilchens als das Resultat des Zusammenbestehens jener betrachtet werden darf, in welche die Bewegung des Körpertheilchens zerlegbar ist, und die einzeln genommen in dem Körper hätten fortgepflanzt werden können. Man nennt das Aufeinanderwirken zweier zusammentreffenden Wellen die Interferenz derselben. Sonach reducirt sich der Erfolg der Interferenz auf eine bloße Zusammensetzung der durch die interferirenden Wellen bedingten Bewegungen. Die nächste Folgerung hieraus ist, daß, wie mannigfaltig und unregelmäßig auch immer die Ursache wirken mag, durch welche der Körper in Bewegung

versetzt wird, die Bewegung desselben sich stets als das Resultat der Zusammensetzung unendlich vieler, höchst einfacher und regelmäßiger Schwingungsarten darstellt, deren jede einzelne für sich hätte erregt und fortgepflanzt werden können, und die sich bloß durch die Zeit, binnen welcher jede einzelne Schwingung vollbracht wird (in Folge dessen auch durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit), unterscheiden. Hiedurch reducirt sich das ganze Geschäft auf die Betrachtung der Fortpflanzung dieser einfachen Schwingungen, bei welchen, wie aus dem oben Gesagten erhellet, die Körpertheilchen entweder geradlinige oder kreisförmige oder elliptische Bahnen beschreiben. Die elliptische Form der Bahn stellt sich als die allgemeinste dar, weil sie einerseits die Kreisform, als Ellipse ohne Excentricität oder mit gleichen Axen, andererseits die geradlinige, als Ellipse deren kleinere Axe = o geworden ist, in sich begreift. Es darf aber auch die Bewegung in einer Ellipse als das Resultat gleichzeitig vorhandener, nach verschiedenen Richtungen vor sich gehender geradlinigen Bewegungen betrachtet werden, wenn gleich letztere nicht in allen Fällen einzeln fortgepflanzt werden können. Wir wollen nun die Beschaffenheit der einfachen Schwingungen der Theilchen eines elastischen Systems näher ins Auge fassen.

356. Es sey A, Fig. 145, die Ruhelage eines Körpertheilchens, B A B′ die Gerade, längs welcher es hin- und herschwingt, und M ein Punct dieser Bahn, worin es sich während seines Fortschreitens von A gegen B hin in einem bestimmten Augenblicke befindet. Hier erfährt es durch die Einwirkung der benachbarten Theilchen eine Verzögerung, die mit um so größerer Kraft geschieht, je weiter das sich bewegende Theilchen von A absteht, und endlich, wenn dasselbe bis B gekommen ist, seine Geschwindigkeit ganz aufgehoben hat. Dieselbe Kraft treibt es nun gegen A zurück, und beschleuniget seine Bewegung; geschieht dieses fortwährend bis es in A eintrifft, so hat es dort die größte Geschwindigkeit, die beschleunigende Kraft aber ist gleich Null. Zufolge seiner Trägheit setzt nun das Theilchen seine Bewegung gegen B′ hin fort, die aber jetzt aus demselben Grunde wie vorhin eine verzögerte ist, bis endlich in B′ die Geschwindigkeit abermal verschwindet, und sodann von B′ gegen A hin wieder eine nach demselben Gesetze beschleunigte Bewegung, wie bei dem Gange von B gegen A, eintritt. Nimmt man A M′ = A M, so hat das Theilchen in M und M′ stets dieselbe Geschwindigkeit, nur ist die Richtung derselben bei zwei unmittelbar auf einander folgenden Durchgängen durch M oder M′ eine entgegengesetzte. Der Punct der Bahn, worin ein Körpertheilchen sich in einem Augenblicke befindet, in Verbindung mit der Richtung, nach der es seine Bewegung fortsetzt, bestimmt den diesem Zeitpuncte entsprechenden Bewegungszustand oder die Phase des Theilchens; die von einem fixen Augenblicke an gezählte Zeit, nach welcher eine gegebene Phase Statt hat, heißt die Phasenzeit; die Zeit, welche zwischen dem Eintreten zweier unmittelbar auf einander folgenden gleichen Phasen verfließt, ist die Dauer einer Schwingung (Undulationszeit; bei einem Pendel wäre es nach der früher

gebrauchten Benennung die Dauer einer Doppelschwingung) der größte Abstand des Theilchens von seiner Gleichgewichtslage, nämlich AB = AB' heißt die Schwingungsweite (Amplitude), und die größte Geschwindigkeit, die das Theilchen während seiner Schwingung erreicht, nämlich diejenige mit der es in A ankommt, heißt die Intensität der Schwingung. Phasen, in welchen ein Körpertheilchen sich rücksichtlich seiner Gleichgewichtslage in entgegengesetzten Stellungen, wie z. B. M und M' sind, befindet, und zugleich entgegengesetzte Bewegungsrichtungen hat, mithin gleiche und entgegengesetzte Geschwindigkeiten besitzt, heißen entgegengesetzte Phasen, und sind um die Hälfte einer Schwingungsdauer (im Allgemeinen um ein ungerades Vielfache einer halben Schwingungsdauer) von einander entfernt. Aehnliche Benennungen sind auch auf den Fall anwendbar, wenn das Theilchen in einer elliptischen Bahn sich bewegt. Es sey, Fig. 146, BMB'M' eine solche, BB' ihre größere, CC' ihre kleinere Axe, A ihr Mittelpunct, so ist AB = AB' die Schwingungsamplitude, die Geschwindigkeit in C oder C' ist die Schwingungsintensität, und das Theilchen erscheint, wenn es sich in den Endpuncten M, M' eines Durchmessers der Bahn befindet, in entgegengesetzten Phasen. Geht die Bewegung in dem Sinne CMBM' vor sich, so ist sie in den Quadranten CB, C'B' eine verzögerte, in den Quadranten BC', B'C aber eine beschleunigte. Bewegt sich ein Körpertheilchen in einem Kreise, so ist seine Bewegung gleichförmig, der Halbmesser der Bahn bestimmt die Schwingungsamplitude, und die Geschwindigkeit gibt die Intensität der Bewegung an.

357. Bei der Fortpflanzung einer einfachen schwingenden Bewegung geht die Phase eines Theilchens des Mediums auf die in der Richtung der Fortpflanzung befindlichen nächsten Theilchen mit gleichförmiger Geschwindigkeit über, und die Bahnen der Theilchen bleiben einander ähnlich, wenn gleich die Dimensionen derselben um so kleiner ausfallen, je weiter die Bewegung fortgeschritten ist. Verfolgt man die Richtung der Bewegung, so erscheinen an einander gereihte Theilchen in demselben Augenblicke in verschiedenen Phasen, und von zwei von einander entlegenen Theilchen das im Sinne der Fortpflanzung der Bewegung entferntere, in einer um so früheren Phase, je größer die Distanz der Theilchen ist. Der einmal vorhandene Phasenunterschied bleibt sich, wenn die Bewegung auf dieselbe Weise fortgesetzt wird, fortwährend gleich. Beträgt der Phasenunterschied eine ganze Umlaufszeit oder ein Vielfaches derselben, so stimmen die Phasen der Theilchen überein. Die kleinste Distanz zweier schwingenden Theilchen, die sich gleichzeitig in einerlei Phase befinden, ist die Wellenlänge; sie kommt dem Wege gleich, den die Welle während des Umschwunges eines Theilchens zurücklegt. Ist daher L die Wellenlänge, V die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schwingungen und T die Dauer einer Schwingung, so besteht die Gleichung $L = VT$. Innerhalb einer Wellenlänge stehen die Theilchen gleichzeitig nach der Ordnung in den Phasen, wie selbe während einer Schwingung auf einander folgen.

Zwei Theilchen, deren Abstand der Hälfte einer Wellenlänge gleich ist, sind in demselben Augenblicke in entgegengesetzten Phasen. Ueberhaupt sind die Phasen zweier Theilchen gleich, wenn die Entfernung derselben ein Vielfaches der Wellenlänge, und ihre Phasen sind entgegengesetzt, wenn ihre Entfernung ein ungerades Vielfaches der halben Wellenlänge ausmacht. Hiernach läßt sich leicht einsehen, daß bei der Interferenz zweier gleich langen Wellen, denen Schwingungen nach einerlei Richtung entsprechen, eine Summirung oder eine Subtraction der Intensitäten der Schwingung Statt findet, je nachdem die coincidirenden Phasen übereinstimmen oder um eine halbe Undulation von einander abweichen. Sind die Intensitäten der interferirenden Schwingungen gleich, so wird die Bewegung in dem zweiten Falle gänzlich getilgt.

358. Die Bewegung jedes Theilchens eines elastischen Systems bei den so eben betrachteten einfachen Schwingungsweisen ist eine Centralbewegung, wobei die gegen den Mittelpunct A der Ellipse, des Kreises oder der geraden Linie gerichtete, aus der Gesammtwirkung der benachbarten Theilchen entspringende Centripetalkraft dem Abstande des Theilchens von diesem Mittelpuncte direct proportionirt ist. Hier kann aus diesem Gesetze der Kraft nur das Gesetz der geradlinigen Schwingung abgeleitet werden. Diese stimmt mit der oscillirenden Bewegung eines einfachen schweren Pendels, dessen anfängliche Elongation sehr klein ist, überein, denn auch in diesem Falle steht die Kraft, die den schweren Punct in seiner Bahn beschleunigt oder zurückhält, mit dem Abstande desselben von der Ruhelage in geradem Verhältnisse. Es sey, unter der Voraussetzung, daß sich das geradlinig schwingende Theilchen im Puncte M, Fig. 145, seiner Bahn B B′ befinde, und der Abstand desselben von seinem Orte A im Zustande des Gleichgewichtes, nämlich AM durch x, ferner seine Masse durch m vorgestellt werde, die Kraft, welche es afficirt $= h m x$, wobei h einen unveränderlichen Werth hat. Betrachten wir jetzt ein Pendel AB, Fig. 120, welches während seiner schwingenden Bewegung aus der Lage AC in die Lage AM gekommen ist, und setzen wir dessen Länge $AB = l$, die Acceleration der Schwere $= g$ und die Masse des schweren Punctes $= m$, so ist $gm . \sin MAB$ (288) der Ausdruck der denselben gegen B hintreibenden Kraft. Aber das rechtwinkelige Dreieck AMP gibt $\sin MAB = \frac{MP}{AM}$, oder, weil man wegen der Kleinheit des Winkels MAB statt MP auch den Bogen MB, den wir x nennen wollen, ohne merklichen Fehler setzen darf, $\sin MAB = \frac{MB}{AM} = \frac{x}{l}$, daher ist genannte Kraft $= \frac{g}{l} m x$. Denkt man sich demnach die Länge l des Pendels so gewählt, daß $\frac{g}{l} = h$ ist, so stimmt die Bewegung desselben mit jener des Körpertheilchens überein. Bezeichnet man CB durch a, so findet man nach 291: $x = a \sin (t \sqrt{h})$, und wenn die in M Statt

findende Geschwindigkeit des Pendelpunctes v heißt, $v = c \cos (t\sqrt{h})$. Hätte man v mit a statt c verglichen, so hätte man an die Stelle des Factors c in dieser Formel die Größe $a\sqrt{\frac{g}{l}} = a\sqrt{h}$ erhalten. Es ist demnach $c = a\sqrt{h}$. Bezeichnet man die Dauer einer Doppelschwingung des Pendels durch T, so ist $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{2\pi}{\sqrt{h}}$, mithin $\sqrt{h} = \frac{2\pi}{T}$. Hiedurch verwandeln sich die so eben gefundenen Formeln in
$x = a \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right)$ und $v = c \cos\left(2\pi\frac{t}{T}\right)$, und es ist $c = \frac{2\pi a}{T}$.

Diese Formeln gelten, dem oben Gesagten gemäß, auch für die Bewegung eines geradlinig oscillirenden Theilchens eines elastischen Mediums, wobei x den Abstand desselben von seiner Gleichgewichtslage am Ende der Zeit t, v seine Geschwindigkeit, a die Amplitude, c die Intensität und T die Dauer der Schwingung vorstellt. Die durch dieselben dargebotenen Resultate lassen sich folgendermaßen aussprechen: Nimmt man auf der Peripherie eines Kreises, dessen Halbmesser = 1 ist, einen Bogen, der sich zur ganzen Peripherie verhält, wie die Phasenzeit zur Schwingungsdauer, so verhält sich der Abstand des schwingenden Theilchens zur Amplitude, wie der Sinus dieses Bogens zur Einheit, und die Geschwindigkeit des Theilchens zur Schwingungsintensität, wie der Cosinus desselben Bogens zur Einheit.

359. Aus den obigen Formeln ergeben sich sehr wichtige Resultate in Hinsicht auf die Zusammensetzung der schwingenden Bewegungen bei der Interferenz der Wellen. Wir beschränken uns hier auf folgende zwei: 1) Ist ein schwingendes Theilchen gleichzeitig zwei geradlinigen Bewegungen von einerlei Schwingungsdauer unterworfen, deren Richtungen einen Winkel bilden, und deren Phasen übereinstimmen, so entspringt daraus wieder eine geradlinige Schwingung von derselben Dauer, deren Amplitude und Schwingungsintensität durch die Diagonale der Amplituden und Schwingungsintensitäten der Componenten ausgedrückt wird. Es sey nämlich AB, Fig. 147, die Amplitude und Richtung der einen, AB′ jene der andern Componente, so erreicht das oscillirende Theilchen, weil es den Componenten zu Folge in demselben Augenblicke in B und B′ gewesen wäre, durch das Zusammenwirken beider in diesem Augenblicke den Endpunct C der Diagonale des Parallelogramms, dessen Seiten AB und AB′ sind. Es beschreibt aber auch diese Diagonale. Denn befindet es sich am Ende der Zeit t den Componenten gemäß in M und M′, so ist

$$AM = AB \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right),\quad AM' = AB' \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right),$$

mithin $AM : AM' = AB : AB'$. Es liegt daher der Endpunct N der Diagonale AN des Parallelogramms, dessen Seiten AM und AM′ sind, mit A und C in einerlei Richtung. 2) Ist ein schwingendes Theilchen gleichzeitig zwei geradlinigen Schwingungen von einerlei Dauer unterworfen, deren Amplituden, mithin auch die Schwingungsintensitäten gleich sind, deren Phasenzeiten aber um ein Viertel der

Schwingungsdauer unterschieden sind, und deren Richtungen einen rechten Winkel bilden, so ist die resultirende Schwingung eine kreisförmige, deren Halbmesser die gemeinschaftliche Amplitude ist, und welche mit einer der gemeinschaftlichen Schwingungsintensität gleichen Geschwindigkeit vor sich geht. Es seyen AM und AM', Fig. 148, die Abstände des Körpertheilchens von der Ruhelage A in Folge der beiden Bewegungen, t, t' die Phasenzeiten, so ist

$$AM = a \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right), \; AM' = a \sin\left(2\pi\frac{t'}{T}\right).$$

Aber es soll $t' - t = \frac{1}{4}T$, d. h. $t' = \frac{1}{4}T + t$ seyn, dieß gibt

$$AM' = a \sin\left(\frac{\pi}{2} + 2\pi\frac{t}{T}\right) = a \cos\left(2\pi\frac{t}{T}\right),$$

mithin $AN^2 = AM^2 + MN^2 = AM^2 + AM'^2 = a^2$, daher $AN = a$. Es ist also der Abstand des Körpertheilchens vom Puncte A während der ganzen Bewegung unveränderlich und $= a$, wodurch erwiesen ist, daß es einen Kreis vom Halbmesser a beschreibt. Eben so läßt sich zeigen, daß die Geschwindigkeit der Bewegung $= c$ ist. Beträgt der Phasenunterschied der Componenten mehr oder weniger als ein Viertel der Schwingungsdauer, oder sind die Amplituden derselben ungleich, so entsteht eine elliptische Schwingung.

360. Unter den fortschreitenden Schwingungen, bei welchen die Molecularkräfte der Körpertheilchen eine nur untergeordnete Rolle spielen, und der Hergang der Fortpflanzung der Bewegung vornehmlich von äußeren Kräften abhängt, ist die Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten, bei welchen die Gleichheit des hydrostatischen Druckes durch theilweise Einwirkung auf die Oberfläche gestört wurde, die wichtigste, und zeichnet sich durch einen eigenthümlichen Charakter aus. Wellen, welche auf diese Weise in tropfbaren Flüssigkeiten erstehen, zeigen sich als Erhöhungen und Vertiefungen, wovon jene über, diese unter der Horizontalebene der ruhenden Oberfläche liegen. Erstere heißen Wellenberge, letztere Wellenthäler. Ist AC (Fig. 149) eine horizontale Linie, ADB ein Durchschnitt eines Wellenberges, BEC der eines Wellenthales, und schreitet die Welle längs AC fort, so heißt AD der Hintertheil, DB der Vordertheil des Wellenberges, BE der Hintertheil, EC der Vordertheil des Wellenthals, C der Anfangspunct, A der Endpunct der Welle. Die Entfernung des höchsten Punctes des Wellenberges von der Horizontalen ist die Höhe des Wellenberges, die Entfernung des tiefsten Punctes des Wellenthales von derselben Horizontalen, die Tiefe des Wellenthals, die Summe DF + GE aus der Höhe eines Wellenberges und der Tiefe des dazu gehörigen Wellenthals die Höhe der ganzen Welle. AB heißt die Breite (Länge) des Wellenberges, BC die des Wellenthals, AC die Breite der ganzen Welle. Jeder Wellenberg hat nach oben eine convexe, jedes Wellenthal eine concave Krümmung, beide gehen zwar stetig in einander über, es ist aber die Krümmung eines Wellenberges mit der des dazu gehörigen Wellenthals keineswegs congruent, ja nicht einmal der Vordertheil eines

Wellenberges ist mit seinem Hintertheile gleich gestaltet, wie man am besten sieht, wenn man in einem mit Quecksilber gefüllten Gefäße eine Welle erregt, und parallel mit der Richtung ihres Fortschreitens eine mit Mehl bestaubte Schiefertafel hineinsetzt, damit die Welle den Staub wegnehme und sich gleichsam selbst abbilde. Die Wellen erstrecken sich in sehr bedeutende Tiefen, wie man vorzüglich aus dem Trüben des Wassers über einem schlammigen Grunde ersieht, wenn dasselbe Wellen schlägt.

Die zur Hervorbringung einer solchen Wellenbewegung erforderliche theilweise und ungleichförmige Aufhebung des Gleichgewichtes kann auf mannigfaltigem Wege zu Stande kommen. So z. B. erregt ein Wind, der längs des Wassers hinstreicht, durch bloße Reibung kleine Wellen, größere, wenn seine Richtung schief ist. Auf gleiche Weise werden Wellen erregt, wenn man einen schweren Körper in eine tropfbare Flüssigkeit fallen läßt, oder mittelst einer Röhre durch Saugen einen Theil derselben plötzlich herauszieht, wohl auch, indem man eine Flüssigkeit durch Stoßen erschüttert. Unter diesen Erregungsmitteln sind die letzteren zur Untersuchung der Gesetze der Wellenbewegung die geeignetsten, weil die dadurch entstandenen Wellen sich selbst überlassen bleiben und nicht durch den Einfluß fremder Kräfte gestört werden.

361. Läßt man ein kleines Steinchen in ruhiges Wasser fallen, so bildet sich gleich nach dem Eindringen desselben an der getroffenen Stelle eine kleine Vertiefung und rings um dieselbe ein kreisförmiger, erhöhter Wall. Dieser theilt sich bald darauf in zwei Theile, wovon einer nach außen fortgeht und eine kreisförmige, sich beständig erweiternde Welle bildet, deren Mittelpunct der getroffene Punct ist, während der andere nach innen fortschreitet, und die im Mittelpuncte der Welle befindliche Flüssigkeit in die Höhe treibt. Der so aufwärts getriebene Theil sinkt wieder zurück, und spielt dabei dieselbe Rolle, wie das zuerst hineingeworfene Steinchen, und so kommt es, daß bei hinreichend tiefem Wasser und einer bedeutenden Fallhöhe des heineingeworfenen Körpers, ein zwei- oder dreimaliges Aufsteigen des Wassers an der vorhin genannten Stelle Statt findet, deren jedes wieder seine eigene, aber immer schwächere Welle erregt. Ist das Wasser um den Mittelpunct der Welle ruhig geworden, so bemerkt man, daß die letzte, mithin kleinste Welle während ihres Fortschreitens auch noch wie obiger Wall neue Wellen erregt; denn man sieht an der Stelle, welche sie verlassen hat, immer wieder eine kleinere Welle entstehen, die aber nur nach außen fortschreitet. Durch diese Rückwirkung der Wellen muß offenbar jede durch die ihr zunächst vorausgehende verstärkt werden. Bei genauerer Aufmerksamkeit zeigt die Erfahrung selbst vor der zuerst entstandenen, unmittelbar durch den Stoß erzeugten Welle mehrere concentrische, größere und schwächere Wellen, bei denen es den Anschein hat, als wären sie durch ein stoßweise immer stärker werdendes Ausweichen des Wassers beim Hineinfallen des Steines erregt worden. Aus dem Gesagten sieht man, daß ein Stoß gegen eine tropfbare Flüssigkeit **mehrere Wellen** erregt.

362. Die so erzeugten Wellen **erweitern** sich beständig und

bleiben dabei kreisförmig, wenn ihnen kein Hinderniß in den Weg kommt: ja selbst solche Wellen, die beim Entstehen eine von der Kreisform abweichende Gestalt haben, nähern sich dieser beim Erweitern immer mehr. Trifft eine Welle beim Fortschreiten auf einen in der Flüssigkeit schwimmenden Körper; so hebt und senkt sie ihn um ihre eigene Höhe, ertheilt ihm aber keine fortschreitende Bewegung. Bei Wellen, die im fließenden Wasser erregt werden, fließt der Mittelpunct mit der dem Wasser eigenen Geschwindigkeit fort, ohne Störung der Wellenbewegung, wie man leicht sieht, wenn man ein Stück Holz in solches Wasser wirft; denn dieses bleibt stets im Centrum der erregten Welle und wird dabei stromabwärts getragen. Läßt man in einem schmalen, langen, viereckigen Gefäße Wellen entstehen, so können sie nur die Gestalt eines Kreisbogens von bestimmter Länge annehmen; die durch Rütteln eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes entstandenen Wellen verengen sich immer mehr und laufen in der Mitte desselben zusammen. Unter allen diesen Umständen schreitet jeder Punct einer Welle nach der Richtung der zu ihm gehörigen normalen Linie fort. Bei kreisförmigen Wellen fällt diese Richtung für jeden Punct mit dem Radius des Kreises zusammen, der von diesem Puncte aus gezogen ist. Beim Fortschreiten ist der Vordertheil des Wellenberges und der Hintertheil des Wellenthales im Steigen, und der Hintertheil des Wellenberges und der Vordertheil des Wellenthales im Sinken begriffen. Im Steigen des Vordertheiles des Wellenberges liegt die bewegende Kraft, wodurch das weitere Fortschreiten bewirkt wird.

363. Die Geschwindigkeit der Wellen tropfbarer Flüssigkeiten wächst, nach dem Zeugnisse der Erfahrung, mit ihrer Breite und Höhe, mithin auch mit der Größe und Geschwindigkeit der sie durch Stoß erzeugenden Masse, weil diese die Breite und Höhe derselben bestimmt. Eine Aenderung im specifischen Gewichte der Flüssigkeit übt auf die Geschwindigkeit der Wellen keinen merklichen Einfluß aus, Verminderung der Tiefe der Flüssigkeit vermindert die Geschwindigkeit der Wellen, jedoch bei verschiedenen Flüssigkeiten und einerlei Abnahme der Tiefe nicht in demselben Verhältnisse. Hieraus erklärt es sich, warum Wellen, die sich stets mehr erweitern und dabei an Höhe abnehmen, auch immer langsamer werden; warum bei Wellen, die sich stets verengen, das Gegentheil Statt findet; warum solche, bei denen weder das eine noch das andere der Fall ist, und die immer an Höhe ab-, an Breite zunehmen, stets mit derselben Geschwindigkeit fortgehen. Letztere sind daher besonders geeignet zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Wellenbewegung, und auch von den Brüdern Weber, denen wir die meiste Aufklärung hierüber schuldig sind, benützt worden.

364. Die genaueste Kenntniß der Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten erwirbt man sich, wenn man sich über die Bewegung der einzelnen Flüssigkeitstheilchen, mit denen sie verbunden ist, auf dem Erfahrungswege unterrichtet. Zu diesem Zwecke bedienten sich die Brüder Weber, bei den Versuchen, welche sie über diesen Gegenstand

anstellten, eines rechtwinkeligen, schmalen, aber tiefen und langen Gefäßes mit gläsernen Seitenwänden, das sie Wellenrinne nannten, füllten es mit Flußwasser, das viele darin schwebende, feine, feste Theile enthielt, erregten darin Wellen, und beobachteten dann die Bahnen der schwimmenden Körperchen, in der Voraussetzung, daß man dadurch die Bewegung der durch diese Körper verdrängten Flüssigkeit kennen lerne. Auf diese Weise fanden sie: 1) Daß sich die Wassertheilchen an der Stelle, wo die Oberfläche der Flüssigkeit die Gestalt einer Welle annimmt, in Bahnen bewegen, die in einer verticalen Ebene liegen, und entweder in sich zurückkehren oder nicht, je nachdem die zusammengehörigen Wellenberge und Wellenthäler gleich gestaltet sind oder nicht. Im ersten Falle sind die Bahnen elliptisch. Ist z. B. A (Fig. 150) ein solches Theilchen, A x eine horizontale Linie, nach welcher die Wellen fortschreiten, so macht es im ersten Falle den Weg ACBDA, im zweiten den Weg A'C'B'D'. Während A den über A x liegenden Theil der Bahn beschreibt, bildet es einen Theil des Wellenberges, während es den unterhalb derselben liegenden zurücklegt, einen Theil des Wellenthales. Es ist daher der verticale Durchmesser dieser Bahn der Höhe der Welle gleich. 2) Die in der Richtung der Wellenfortpflanzung liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung successiv; aber es stoßen nie zwei Theilchen, deren Bahnen sich schneiden, zusammen. In der Fortpflanzung dieser Bewegung von Theilchen zu Theilchen liegt der Grund der Wellenfortpflanzung. 3) Während ein Theilchen der Flüssigkeit eine Bahn einmal zurücklegt, schreitet die dadurch gebildete Welle um ihre ganze Breite vorwärts, es geht das Wellenthal oder der Wellenberg voraus, je nachdem die betreffenden Theilchen ihre Bewegung nach abwärts oder nach aufwärts beginnen. 4) Die Zeit, in welcher ein Theilchen seine ganze Bahn einmal zurücklegt, bestimmt das Verhältniß der Höhe der Welle zu ihrer Breite. 5) Die schwingende Bewegung der Theilchen erstreckt sich bis zu einer sehr großen Tiefe, und die in einer verticalen Linie liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung zugleich, aber in Bahnen, deren horizontaler und verticaler Durchmesser desto kleiner ist, je tiefer ein Theilchen liegt, auch übertrifft der horizontale Durchmesser den verticalen desto mehr, je weiter ein Theilchen von der Oberfläche entfernt ist. In sehr großen Tiefen haben diese Theilchen nur eine horizontale, hin- und hergehende Bewegung. 6) Die näher an der Oberfläche liegenden Theilchen durchlaufen ihre Bahnen nicht so geschwind, als die tiefer liegenden. 7) Jedes Theilchen, das durch eine momentan wirkende Kraft in eine schwingende Bewegung versetzt wurde, wiederholt seine Umdrehung mehrmals, aber in immer kleineren Bahnen und in immer kürzerer Zeit, und so viele Umläufe es macht, so viele Wellen gehen an jenem Orte vorüber. Man sieht hier besonders deutlich, daß die schwingende Bewegung der Theilchen die eigentliche, wirkliche Bewegung beim Fortgange der Wellen, und die Welle nur die Gestalt ist, welche die Flüssigkeit an ihrer Oberfläche, vermög der Bewegung ihrer kleinsten Theile, annimmt. Demnach schreitet ein und der-

selbe Wellenberg über dem Niveau einer Flüssigkeit fort, ohne die Flüssigkeit mit sich fortzuführen, und die Wellenberge und Wellenthäler erhalten sich hinter einander in ihrer Form, ohne daß sie in einander übergehen.

Fig. 151 stellt mehrere kreisförmige Bahnen vor, welche die daselbst befindlichen Theile a b c d e f in der Richtung des beigesetzten Pfeiles beschreiben. Wir wollen uns jedes dieser Theilchen zu einer Zeit denken, wo das erste a bereits die ganze Bahn zurückgelegt hat, und sich wieder in a befindet, das letzte f aber gerade seine Bewegung beginnt. Da ist nun b nach b', c nach c', d nach d', e nach e' gekommen, und die Flüssigkeit hat die Gestalt der Curve a b'c'd'e'f annehmen müssen.

365. Von der Bewegung der Flüssigkeitstheilchen bei der Fortpflanzung einer Welle ist diejenige verschieden, welche den Theilchen bei der Entstehung einer Welle zukommt. Das, was durch Erfahrung hierüber bekannt ist, bezieht sich auf den Fall, wo man aus einer flüssigen Masse mittelst einer Röhre plötzlich eine Säule von bestimmter Länge herausgehoben und dadurch Wellen erzeugt hat. Es besteht in Folgendem: Es erstreckt sich die Verschiebung der Theilchen scheinbar gleichzeitig in große Tiefen, nimmt aber der Größe nach gegen unten schnell ab. Die Richtung der Theilchen ist nach Verhältniß ihrer Lage und Entfernung vom Entstehungsorte der Bewegung sehr verschieden. Die in einer verticalen Linie unter dieser Stelle liegenden Theilchen bewegen sich senkrecht aufwärts und dann ein wenig nach entgegengesetzter Richtung; die seitwärts und tiefer liegenden haben eine schiefe Bewegung gegen den Ursprung der Bewegung hin; bei den der Oberfläche näheren werden die Bahnen gar gekrümmt, und zwar desto mehr, je näher sie der Oberfläche liegen.

366. Wenn zwei Wellen einander begegnen und sich durchkreuzen (interferiren), so entsteht aus zwei Wellenbergen ein einziger, dessen Höhe fast der Summe beider gleich ist. Dasselbe erfolgt mit zwei sich durchkreuzenden Wellenthälern. Hiervon überzeugt man sich, wenn man in der Wellenrinne (364) an den entgegengesetzten Enden zwei Wellen im Quecksilber erregt, und den bei ihrer Durchkreuzung entstandenen Wellenberg oder das Wellenthal mittelst einer bestaubten Schiefertafel sich (nach 360) abbilden läßt. Nach der Durchkreuzung trennen sich die beiden Wellenberge und Wellenthäler wieder von einander so, daß es den Anschein hat, als wären die Wellen ungestört durch einander gegangen. Trifft ein Wellenthal einer Welle mit einem eben so großen Wellenberge einer andern Welle zusammen, so heben sich beide an der Durchkreuzungsstelle auf.

Eine recht artige Erscheinung bringt die Interferenz der Wellen hervor, die man im Quecksilber an zwei einander nahen Stellen a und b mittelst hineinfallender Tropfen erregt, und welche sich an einigen Stellen beim Durchkreuzen aufheben, an anderen verstärken. Sowohl die Stellen, wo das eine, als die, wo das andere Statt findet, liegen in hyperbolisch gekrümmten Linien. Fig. 152 stellt diese Erscheinung vor. Man erkennt die Streifen, wo sich die Wellen beim Durchkreuzen aufheben oder verstärken, wenn man schief auf die Figur nach ihrer Länge hinsieht.

367. Betrachtet man während der Durchkreuzung der Wellen die Bewegung der einzelnen Flüssigkeitstheilchen, so findet man, daß sich die elliptischen Bahnen, welche sie vor der Durchkreuzung beschreiben, in geradlinige verwandeln, daß die gerade unter dem höchsten Puncte eines durch Durchkreuzung entstandenen Wellenberges liegenden Theilchen eine verticale Richtung haben, zu deren beiden Seiten aber schief gegen diesen Punct hin gerichtet seyen. Bei der Durchkreuzung zweier Wellenberge geht die Bewegung aufwärts, bei jener zweier Wellenthäler abwärts; diese geradlinige Bahn ist immer größer als der verticale Durchmesser der vor der Durchkreuzung bestehenden, elliptischen Bahnen. Bei der Durchkreuzung scheint eine kleine Verzögerung in der Fortpflanzung einzutreten, nach der Durchkreuzung bewegen sich aber die Wellen mit derselben Geschwindigkeit fort, als hätten sie sich nicht durchkreuzet.

368. Wenn das Gleichgewicht der Theile eines Mediums gestört wird, so entsteht eine nach allen Seiten sich ausbreitende Welle. So bringt in einer Luftsäule die longitudinale Verschiebung der an einer Stelle befindlichen Theilchen nicht bloß eine verdichtete Welle hervor, die sich nach der Richtung der Verschiebung, sondern auch eine verdünnte, die sich nach der entgegengesetzten Richtung fortpflanzt. Ganz anders verhält sich die Sache bei der Fortpflanzung der Wellenbewegung selbst; da erzeugen die vorhandenen Störungen des Gleichgewichtes nur in dem Sinne des Fortschreitens der Wellenbewegung eine Welle, nämlich die Fortsetzung der früheren, nicht aber auch eine Welle, die im entgegengesetzten Sinne fortgeht. Es wirken nämlich die schwingenden Theilchen nach der Richtung der Fortpflanzung der Welle auf ruhende Theilchen, deren Ruhe sie stören; nach der entgegengesetzten Richtung aber auf bewegte Theilchen, die sie zur Ruhe bringen. Letzteres geschieht in Folge eines in dem Wesen der Wellenbewegung liegenden, durch die Natur des Mediums bedingten Größenverhältnisses zwischen Wirkung und Gegenwirkung. Dort, wo ein Medium aufhört und ein anderes, mit ersterem in Bezug auf die Fortpflanzung der Wellenbewegung heterogenes anfängt, findet, wenn die Wellenbewegung bis dahin vorgedrungen ist, diese Harmonie zwischen den die Bewegung erregenden und den in Bewegung gesetzten Theilchen nicht Statt, es erfolgt daher auf beide Medien gerade dieselbe Wirkung, als wenn eine ursprüngliche Störung des Gleichgewichtes ihrer Theilchen obwaltete. Kommt also eine Welle an die Grenze zweier Medien, so bilden sich im Allgemeinen zwei Wellen; eine, die in das erste Medium zurückkehrt und die **reflectirte** Welle heißt, und eine zweite, die in dem neuen Medium (vorausgesetzt, daß dieses zur Wellenbewegung geeignet ist) fortschreitet, und die **gebrochene** Welle genannt wird. Es muß jedoch bemerkt werden, daß diese Wellen in Medien, deren Elasticität nicht nach allen Richtungen dieselbe ist, aus früher angegebenen Gründen in mehrere getrennte Partien zerfallen können, so daß sich dann mehrere reflectirte oder gebrochene Wellen bilden. Die Theorie weiset auch Fälle nach, in welchen die reflectirte oder gebro-

chene Welle unterdrückt wird, welcher Gegenstand jedoch erst in der Lichtlehre, wo er practische Anwendung findet, zur Sprache kommen wird. Hier beschränken wir uns auf die Angabe des einfachen Gesetzes, nach welchem die Reflexion einer sphärischen Welle an der ebenen Grenze eines Mediums, dessen Elasticität nach allen Richtungen gleich ist, vor sich geht.

369. Es sey A (Fig. 153) ein bewegter Punct, welcher eine solche Welle gegen die feste Wand MN oder gegen die ebene Begrenzung irgend eines heterogenen Mediums sendet; ferner seyen H, K zwei Puncte, in denen die Verbindungsfläche gleichzeitiger Phasen, die wir hier kurz Welle nennen wollen, während ihres Fortschreitens die Ebene in verschiedenen Augenblicken trifft, welche Puncte sich wie Mittelpuncte neuer Wellen verhalten; endlich seyen Ii, Ll die Lagen dieser Wellen in einem und demselben Augenblicke. Nimmt man den Punct A' in der Verlängerung der auf MN senkrechten AD so, daß $DA' = DA$ wird, und zieht man von A' durch H, K gerade Linien, bis selbe den genannten Wellen in I, L begegnen; so ist $A'I = A'L$. Denn da die schwingende Bewegung die Wege AHI, AKL binnen derselben Zeit zurücklegt, so ist $AH + HI = AK + KL$. Aber die congruenten Dreiecke ADH, A'DH und ADK, A'DK geben $AH = A'H$, $AK = A'K$; daher ist auch $A'H + HI = A'K + KL$, d. h. $A'I = A'L$. Beschreibt man daher aus A' mit dem Halbmesser A'I eine Kugelfläche, so berührt diese die beiden Wellen Ii, Ll, und aus gleichem Grunde auch alle anderen, in demselben Augenblicke vorhandenen, von den verschiedenen Puncten der Wand MN ausgesendeten, d. i. reflectirten Wellen. Diese Wellen sind hier als Elementarwellen zu betrachten, die sich an den Stellen, wo je zwei einander nächste derselben zusammenkommen, zu einer wirksamen Welle verbinden (349), und letztere, welche offenbar nichts anderes seyn kann, als die Berührungskugel sämmtlicher Elementarwellen, verhält sich daher gerade so, als wäre sie von A' ausgegangen. Es erzeugt also eine sphärische Welle durch Reflexion an einer Ebene eine zweite sphärische Welle, deren Mittelpunct so liegt, daß die von ihm zu dem Mittelpuncte der directen Welle gehende gerade Linie auf der reflectirenden Ebene senkrecht steht und durch selbe halbirt wird.

370. Es kommt noch die Anordnung der Schwingungsrichtungen der Theilchen in der reflectirten Welle in Betrachtung. Stößt eine Luftwelle gegen eine feste Wand, so erzeugt der verdichtete Theil der directen Welle den verdichteten der reflectirten, und der verdünnte Theil der ersteren den verdünnten der letzteren; denn die Theile der Wand weichen weder aus, noch folgen sie dem schwingenden Theilchen nach. Gelangt eine Luftwelle, die in einer cylindrischen Röhre fortschreitet, an ein offenes Ende der Röhre, so tritt gleichfalls eine Reflexion ein, weil die Theilchen der freien Luft leichter ausweichen, als jene der in der Röhre befindlichen, wo keine Seitenbewegung Statt haben kann. Aber eben deßhalb verwandelt sich bei der Reflexion der verdichtete Theil der Welle in einen verdünnten und umgekehrt. Bei der Reflexion

der Wasserwellen an einer festen Wand gibt der Wellenberg wieder einen Wellenberg; bei der Reflexion der transversalen Ausbiegung einer Schnur an einem Befestigungspuncte derselben erhält die Ausbiegung die entgegengesetzte Lage.

Zur Erläuterung des Gesagten mag die genauere Darstellung des Herganges der Reflexion einer Wasserwelle a b c d e, Fig. 154, an einer festen Wand A dienen. Es gehe der Berg, dessen Spitze e ist, dem Thale voran, und man betrachte den Verlauf der Reflexion in vier Zeitabschnitten, deren jeder ein Viertel der Schwingungsdauer eines Theilchens in der Welle ist. Nach Beendigung des ersten Zeitabschnittes ist c d an die Stelle von d e gekommen, und d e hat sich in einen von A weggehenden Wellenberg verwandelt. Dadurch ist c d auf das Doppelt an Höhe gewachsen, hat aber um eben so viel an Breite abgenommen, wie (β) zeigt. Nach einer doppelt so langen Zeit ist c in e angelangt, so daß von der Welle nur a b c (γ) vorhanden wäre, wenn keine Reflexion erfolgte; aber es hat sich zugleich der Wellenberg c d e (α) in einen von A B weggehenden c d a (γ) verwandelt; a b c und c d a heben einander auf, und es wird für einen Augenblick die Oberfläche der Flüssigkeit ganz eben. Nach Verlauf eines dreifachen Zeittheilchens von der vorhin angegebenen Dauer ist a b an die Stelle von b c gekommen, eben dahin fällt auch das zurückkehrende Stück b c so, daß dadurch das Wellenthal doppelt so tief und nur halb so breit wird, und das Ganze wie die Zeichnung in (δ) aussieht. Endlich nach Verlauf von vier solchen Zeittheilchen bekommt die Welle die Lage a b c d e (ι), und die Richtung des beigesetzten Pfeiles. Die Bahnen der Flüssigkeitstheilchen selbst erleiden bei der Reflexion dieselbe Aenderung, wie bei der einfachen Durchkreuzung (367), es wird nämlich, wie dort, ihre verticale Bewegung auf Kosten der horizontalen verstärkt, so daß die elliptischen Bahnen in gerade, verticale oder geneigte verwandelt werden.

371. Wenn in einem tropfbaren oder ausdehnsamen Medium eine Welle an eine Wand mit einer Oeffnung anstößt, so erleidet sie eine eigene Modification, welche **Beugung** genannt wird. Ist z. B. A B (Fig. 155) eine Oeffnung in einem Brete, a der Mittelpunct einer kreisförmigen Wasserwelle; so wird der Theil, welcher die Wand und nicht die Oeffnung trifft, sich erweitern, als wäre die Welle gar nicht unterbrochen; dasselbe thut auch der Theil A B, welcher durch die Oeffnung geht, nur mit der Modification, daß die Enden dieser Wellenbögen nicht mehr in der Richtung fortschreiten, die ihnen bei der freien Bewegung zukäme, sondern sich gegen die Wände zu Kreisbögen b c und d e **umbeugen**, deren Mittelpuncte in A und B liegen. Diese Bögen unterhalten stets die Verbindung zwischen dem Theile der Welle vor und hinter der Oeffnung.

Die durch Beugung entstandenen, kreisförmigen Wellen b c und d e kreuzen sich bei ihrer Erweiterung und verstärken sich an einigen Stellen, schwachen sich an anderen oder heben sich gar auf. Die auf einerlei Art entstandenen Wellen liegen in einer Hyperbel, und man kann sowohl dieses, als den ganzen Verlauf der angeführten Beugungsphänomene deutlich sehen, wenn man ein etwa 1/2 Zoll dickes, mit einer Oeffnung versehenes Bret in Quecksilber taucht, und in dieses regelmäßige Quecksilbertropfen fallen läßt. Die Erscheinung hat völlige Aehnlichkeit mit Fig. 152. In die Reihe der Beugungsphänomene ge-

hören auch die Wirbel, welche sich bilden, wenn Wasser an ein Bret anstößt, aber zu beiden Seiten desselben vorbeifließen kann. Diese Wirbel sind auf beiden Seiten gegen einander gerichtet, und können sich bei nicht zu großer Länge des Bretes in einander verschlingen.

B. Messung der Tonhöhen.

372. Ein Hauptpunct, welcher bei der Untersuchung der stehenden Schwingungen der Körper, die der Gegenstand unserer nächsten Beschäftigung seyn werden, in Betrachtung kommt, ist die Dauer einer Schwingung, oder was dasselbe heißt, die Anzahl der binnen einer gegebenen Zeit gemachten Schwingungen. Großen Vortheil gewährt bei diesem Geschäfte der Umstand, daß unser Gehörorgan eine Reihe gleichzeitiger, mit einer gewissen Schnelligkeit auf einander folgenden Stöße, welche in Folge der schwingenden Bewegung eines Körpers und der dadurch erregten Wellenbewegung der Luft bis zu diesem Organe fortgepflanzt worden sind, als Ton empfindet, dessen Höhe mit der Anzahl der binnen einer bestimmten Zeit vollbrachten Stöße in einem innigen Zusammenhange steht, so zwar, daß ein Ton um so höher erscheint, je schneller die ihn erzeugenden Schwingungen vor sich gehen. Von der Richtigkeit dieser Thatsache überzeugt man sich leicht, wenn man ein dünnes Blättchen dem Rande eines sich drehenden gezähnten Randes nähert, oder wenn man einen durch eine Röhre getriebenen Luftstrom rasch hinter einander in gleichen Absätzen unterbricht und wieder frei läßt (Syrene), und auch auf viele andere Arten durch Versuche mit Saiten (Monochord), Stäben u. dgl. Durch die so eben genannten Hülfsmittel wird man sogar in den Stand gesetzt, die Anzahl der gemachten Stöße genau anzugeben. Zur Wahrnehmung eines Tones gehören wenigstens 16 Stöße oder Schwingungen in einer Secunde, wobei wir einen Hin- und Hergang des schwingenden Körpers, oder eine Verdichtung und Verdünnung der Luft, zusammen für Eine Schwingung rechnen. Folgen die Stöße zu schnell auf einander, wie dieses bei 16000 und mehr Schwingungen in einer Secunde der Fall ist, so vernimmt das Gehör keinen Ton, sondern nur eine Art Zischen; selbst die Ergebnisse einer weit geringeren Anzahl Schwingungen können nicht mehr mit Sicherheit im Gedächtnisse festgehalten und mit ähnlichen Empfindungen in Absicht auf Höhe und Tiefe verglichen werden.

Die Syrene ist in Fig. 156 abgebildet. Sie besteht aus einer Röhre, die zu einem cylindrischen Behälter führt, der mit einer kreisförmigen Platte geschlossen ist, in welcher in einem Kreise herum mehrere Löcher angebracht sind so daß die Luft, die man in die Röhre bläst, durch dieselben entweichen kann. Ueber dieser Platte findet sich in geringem Abstande eine andere parallele, um eine auf den Ebenen beider senkrechte Axe äußerst leicht drehbare, ebenfalls mit mehreren, gleichweit von einander abstehenden, gegen die Halbmesser der Platte senkrecht, gegen ihre Ebene aber unter dem Winkel von 45° gebohrten Löchern, welche auf die der ersteren Platte passen. Diese Platte wird durch den aus den Oeffnungen der unteren Platte hervortretenden Luftstrom, der schiefen Stellung ihrer Löcher wegen, in Bewegung gesetzt,

und läßt sich durch Regulirung des Luftstromes in beliebiger constanter Geschwindigkeit der Drehung erhalten. Während einer Umdrehung fällt jede ihrer Oeffnungen einmal auf jede Oeffnung der Spalte der Bodenplatte so, daß die Luft während einer solchen Umdrehung so oft aus der Röhre entweichen kann und wieder zurückgehalten wird, als die Löcher beider Platten zusammenfallen, mithin eben so viele Stöße entstehen. Um die Anzahl der Umläufe der Platte und, durch Multiplication derselben mit der Anzahl der Löcher, auch die Anzahl der Stöße zu bestimmen, kann an die Are der beweglichen Scheibe ein mit Zifferblättern und Zeigern versehenes Räderwerk angeschoben werden, in welches diese Are eingreift.

Verkürzt man eine schwingende Saite, einen Stab, von bedeutender Länge allmälig, so bemerkt man deutlich, daß anfänglich, wo man die Schwingungen einzeln bequem sehen und zählen kann, noch kein Ton gehört wird, später aber, bei rascheren Schwingungen ein tiefer Ton sich einstellt, dessen Höhe mit der durch fortgesetzte Verkürzung gesteigerten Schnelligkeit der Schwingungen zunimmt. Zur Vergleichung der gleichzeitigen Anzahl der Schwingungen bei zwei Tönen ist das Monochord äußerst bequem, eine Saite auf einem Resonanzboden mit einer Scale, um die Länge des jedesmal schwingenden Stückes der Saite genau zu bestimmen. Bei ungeänderter Spannung der Saite ist die Anzahl der Schwingungen binnen einer festgesetzten Zeit der Länge des schwingenden Stückes verkehrt proportionirt.

373. Das natürliche Maß der Höhe eines Tones ist die demselben entsprechende Anzahl der Schwingungen, welche während einer festgesetzten Zeit, wozu wir die Secunde wählen, vor sich gehen. Wird also ein Ton durch n Schwingungen in einer Secunde gebildet, so ist die Tonhöhe $= n$, und zwar ist dieß die absolute Tonhöhe. Vergleicht man aber die Höhen zweier Töne mit einander, indem man das Verhältniß ihrer absoluten Werthe angibt, so hat man es mit der relativen Höhe des einen in Bezug auf den andern zu thun. Der Ton, auf den man einen andern bezieht, heißt der Grundton. Wir werden hier stets voraussetzen, daß er der tiefere der in Vergleichung gebrachten Töne sey. Ist N die absolute Höhe des Grundtones, n jene des mit ihm verglichenen, so wird der Quotient $\frac{n}{N}$ als Ausdruck der relativen Höhe des letztern angesehen, so daß dem Grundtone der Ausdruck $\frac{N}{N} = 1$ entspricht.

374. Das menschliche Gehör kann zwar sehr kleine Unterschiede in den Tonhöhen wahrnehmen, aber eine gewisse Folge von Tönen gewährt ihm eine besondere Befriedigung. In einer solchen Folge, Scale oder Tonleiter genannt, kommt man, von dem Grundtone aufsteigend, nach sechs Zwischentönen auf einen Ton, der mit dem Grundtone so genau zusammenstimmt, daß man, wenn beide zusammen erklingen, nur einen Ton zu hören glaubt. Darum nimmt man bei dem Fortschreiten zu noch höheren Tönen an, die Tonreihe beginne mit diesem Tone wieder von Neuem. Es gibt aber für jeden Grundton zwei Scalen, deren eine die harte, die andere aber die weiche genannt wird. Die Töne jeder heißen nach der Ordnung: Grundton

(tonica), Secund, Terz, Quart, Quint, Sext, Septime, Octav. Die harte und weiche Tonleiter unterscheiden sich dadurch, daß die Terz bei letzterer niedriger ist, weßhalb sie da auch kleine Terz heißt, während der harten Tonleiter die große Terz zugehört. Nennt man den Grundton C, so heißt die Secund D, die Terz in der harten Scale E, in der weichen Es, die Quart F, die Quint G, die Sext A, die Septime H, und die Octav wieder c. Von c an aufwärts folgen wieder d, e, f, g ꝛc. Mit dem Grundtone läßt sich die Terz oder die Quint sehr angenehm hören, und diese drei Töne zusammen geben einen vollendeten Dreiklang; die Quart und Sext klingen mit dem Grundtone noch erträglich, aber die Secunde und Septime machen mit dem Grundtone verbunden einen widrigen Eindruck. Diese zwei letzteren Töne heißen daher dissonirende, während erstere consonirende genannt werden.

375. Die relativen Tonwerthe der Glieder der Scale sind folgende:

$$\begin{array}{ccccccccc} C, & D, & (Es) & E, & F, & G, & A, & H, & c. \\ 1, & \frac{9}{8}, & (\frac{6}{5}) & \frac{5}{4}, & \frac{4}{3}, & \frac{3}{2}, & \frac{5}{3}, & \frac{15}{8}, & 2. \end{array}$$

Wie man sieht, sind die Intervalle je zweier unmittelbar auf einander folgenden Töne nicht gleich groß, denn es zeigt sich $\frac{9}{8} : 1 = \frac{9}{8}$; $\frac{6}{5} : \frac{9}{8} = \frac{16}{15}$; $\frac{5}{4} : \frac{6}{5} = \frac{25}{24}$; $\frac{5}{4} : \frac{9}{8} = \frac{10}{9}$; $\frac{4}{3} : \frac{5}{4} = \frac{16}{15}$; $\frac{4}{3} : \frac{6}{5} = \frac{10}{9}$; $\frac{3}{2} : \frac{4}{3} = \frac{9}{8}$; $\frac{5}{3} : \frac{3}{2} = \frac{10}{9}$; $\frac{15}{8} : \frac{5}{3} = \frac{9}{8}$, $2 : \frac{15}{8} = \frac{16}{15}$. Das Intervall $\frac{9}{8}$, als das größte, heißt das eines großen ganzen Tones, das nächst folgende $\frac{10}{9}$ das eines kleinen ganzen Tones, das zunächst kleinere Intervall $\frac{16}{15}$ das eines großen halben Tones, und das kleinste $\frac{25}{24}$ das eines kleinen halben Tones. Das zwischen einem großen und kleinen ganzen Tone bestehende Intervall nämlich $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$ wird Comma genannt. Es sind also die Intervalle C D, FG, A H große, D E, Es F, G A kleine ganze Töne; D Es, E F, H c sind große halbe Töne und Es E ist ein kleiner halber Ton.

Von einem Tone auf die Octave oder auf die Quinte ꝛc. übergehen, heißt nach obigen Daten ihn mit 2 oder $^3/_2$ ꝛc. multipliciren. Durch Division mit diesen Zahlen wird der Ton um ein entsprechendes Intervall erniedriget. Ist ein Ton gegeben, dessen Höhe bezüglich des Grundtones durch eine Zahl ausgedrückt wird, die größer als 2 ist, ohne selbst eine Potenz von 2 zu seyn (in letzterem Falle wäre der Ton eine der höheren Octaven des Grundtones), so halbire man ihn fortwährend, bis der Quotient kleiner als 2, aber nicht kleiner als 1 wird. Darnach erkennt man leicht die Beschaffenheit des Tones. So erhält man z. B. aus dem Tone 60 durch Division mit $2^5 = 32$ den Quotienten $^{60}/_{32} = ^{15}/_8$, und sieht hieraus, daß der Ton die Septime in der fünften Octave über dem Grundtone ist.

376. Daß die vorhin angegebene Tonleiter nicht alle Töne umfaßt, welche zwischen dem Grundtone C und seiner Octave c möglich sind, springt in die Augen; es reichen aber diese Töne auch nicht für die practische Musik hin, wie man leicht aus folgender Betrachtung entnehmen kann. Will man nicht C, sondern einen andern Ton, z. B. G, zum Grundtone annehmen, und doch auf eine Art fortschrei-

ten, die von den bezeichneten Intervallen, wenigstens nicht sehr stark, abweicht; so muß man zwischen F und G einen neuen Ton einschalten; denn es wird bei dieser Annahme E die Sext, F die Septime und g die Octave; E und F sind aber nach der angegebenen Tonleiter nur um einen halben Ton verschieden, und sollen es um einen ganzen seyn, während F und g um einen ganzen Ton von einander abstehen und es nur um einen halben sollen. Beiden Fehlern hilft man ab, wenn man F um einen halben Ton erhöht, das ist, seinen Werth mit $\frac{25}{24}$ multiplicirt. Dieselbe Erhöhung muß man mit mehreren andern Tönen vornehmen, wenn man D, A, E, H &c. als Grundton annimmt, während man Töne um einen halben Ton vertiefen, d. i. ihren Werth mit $\frac{24}{25}$ multipliciren muß, wenn man einen Ton zum Grundtone annimmt, der in der Reihe der tieferen Quinten von C liegt, wie z. B. F. Man bezeichnet die Erhöhung eines Tones dadurch, daß man zu seinem Namen is, und die Vertiefung dadurch, daß man zu demselben es setzt. So bezeichnet cis, dis, fis das erhöhte c, d, f, und es, hes, ges das vertiefte e, h, g. Durch Einschaltung dieser Töne in die übrige Tonleiter hat man in jeder Octave 22 Töne erhalten, deren Werthe und Namen folgendes Verzeichniß gibt.

Name.	Werth.		Name.	Werth.	
c	1	1,00000	ges	$\frac{36}{25}$	1,44000
cis	$\frac{25}{24}$	1,04166	g	$\frac{3}{2}$	1,50000
des	$\frac{27}{25}$	1,08000	gis	$\frac{25}{16}$	1,56250
d	$\frac{9}{8}$	1,12500	aes	$\frac{8}{5}$	1,60000
dis	$\frac{75}{64}$	1,17187	a	$\frac{5}{3}$	1,66667
es	$\frac{6}{5}$	1,20000	ais	$\frac{125}{72}$	1,73611
e	$\frac{5}{4}$	1,25000	hes	$\frac{9}{5}$	1,80000
eis	$\frac{125}{96}$	1,30208	h	$\frac{15}{8}$	1,87500
fes	$\frac{32}{25}$	1,28000	his	$\frac{125}{64}$	1,95313
f	$\frac{4}{3}$	1,33333	ces	$\frac{48}{25}$	1,92000
fis	$\frac{25}{18}$	1,38889	c	2	2,00000

Weil zwei Töne, wovon einer durch Erhöhung eines Tones, der andere durch Vertiefung des nächst höheren entstanden ist, wie z. B. cis und des, fis und ges, sehr wenig von einander abweichen; so gibt man ihnen in der Ausübung gewöhnlich nur einen Werth, und erhält dadurch in der ganzen Octave 12 Töne. Ihre Aufeinanderfolge macht die chromatische Tonleiter aus.

377. Wenn man auf irgend einem musikalischen Instrumente, das mehrere Octaven umfaßt, nach reinen Verhältnissen von einem Tone zum andern fortschreitet, und auch die kleinsten Unterschiede, z. B. die zwischen cis und des nicht vernachläßiget; so entfernt man sich dabei doch immer mehr von dem reinen Verhältnisse zum Grundtone. Wollte man z. B. nach reinen Quinten von C aus aufwärts

gehen, so wäre der Werth der ersten reinen Quinte $G = \frac{3}{2}$, jener der zweiten $d = \frac{9}{4}$, der dritten $a = \frac{27}{8}$. Da a zugleich die Octave von der Sext A ist, so müßte sich der letztere Ton durch $\frac{27}{16}$ ausdrücken lassen, und es müßte diese Zahl mit $\frac{5}{3}$ übereinkommen, wenn bei einem reinen Quintenverhältnisse auch das gegen den Grundton rein ausfallen soll. Es ist aber $\frac{27}{16} : \frac{5}{3} = \frac{81}{80}$, und man hat sich daher um diesen Bruch, d. h. um ein Comma, vom reinen Verhältnisse gegen C entfernt. Beim ferneren Fortschreiten nach reinen Quinten häuft sich dieser Fehler noch mehr an. Ist man durch 12 Quinten aufgestiegen, so kommt man auf die siebente Octave des Grundtones. Da die zwölfte Quinte den Werth $(\frac{3}{2})^{12}$, die siebente Octave den Werth 2^7 hat, so beträgt der ganze Fehler $(\frac{3}{2})^{12} - 2^7$. Weil nach dem Vorhergehenden nicht alle Octaven und Quinten zugleich rein seyn können, bei ersteren aber die geringste Abweichung vom reinen Verhältnisse dem Ohre unerträglich wäre; so vertheilt man obigen Fehler auf die Quinten, d. i. man temperirt sie, und zwar entweder alle gleich, oder nur diejenigen, welche seltener vorkommen. Jenes geschieht bei der gleichschwebenden, dieses bei der ungleichschwebenden Temperatur. Das Temperiren wird daher durch die Ungleichheit der Intervalle nothwendig gemacht, und es ist für jedes musikalische Instrument, es mag eine bestimmte oder unendliche Anzahl von Tönen haben, unerläßlich.

Den Werth n einer Quinte bei der gleichschwebenden Temperatur findet man aus $n^{12} = 2^7$, und man bekommt $n = 1{,}49831$, welches vom wahren Werthe um $3/_2 - 1{,}49831 = 0{,}00169$ verschieden ist.

378. Da man durch das Gehör über die Uebereinstimmung oder Nichtübereinstimmung zweier Töne mit hinreichender Genauigkeit zu entscheiden vermag, so lehrt die Vergleichung einer Reihe von Tönen mit denen eines gut getheilten Monochords die relativen Werthe dieser Töne kennen. Ist man nun im Besitze der Kenntniß der absoluten Höhe eines derselben, so findet man daraus auch die absolute Höhe jedes andern, indem man die absolute Höhe des ersteren mit der relativen Höhe des letzteren multiplicirt. Die unmittelbare Bestimmung der absoluten Höhe eines Tones erfordert große Vorsicht und Aufmerksamkeit; sie kann mittelst der Syrene, oder auch nach einer später zu gebenden Formel, mittelst eines dazu vorgerichteten Monochords, am besten mittelst des von **Fischer** angegebenen (Zeitschr. 1. 184) bewerkstelliget werden.

Man pflegt den Ton, welchen eine beiderseits offene Orgelpfeife von 8 Pariser Fuß Länge gibt, nämlich das sogenannte **große C**, mit C zu bezeichnen. Die unter C stehenden Töne führen die Zeichen $\underline{H}$, $\underline{A}$, $\underline{G}$ rc. $\underline{C}$, $\underline{\underline{H}}$, $\underline{\underline{A}}$ rc. $\underline{\underline{C}}$; hievon heißt $\underline{C}$ das **Contra C**, $\underline{\underline{C}}$ das **tiefe C**. Die Octave von C wird durch c, die höheren Octaven werden durch $\bar{c}$, $\bar{\bar{c}}$ rc. bezeichnet; diese Töne heißen **kleines C**, **eingestrichenes**, **zweigestrichenes C** u. s. f. Eine gleiche Bezeichnung und Benennung legt man auch den innerhalb der Octave darauf folgenden Tönen D, E, F rc. bei. Das tiefe C ist der tiefste Ton, von dem man in der Musik Gebrauch macht. Er heißt auch das 32füßige C, weil ihn

eine beiderseits offene Orgelpfeife von 32 Par. F. Länge gibt. Das tiefste C eines Klaviers neueren Umfanges ist das Contra C; der tiefste Ton des Violoncells ist das große C. Die Werthe der vorgenannten Töne sind folgende: $\underline{\underline{C}} = 16$, $\underline{C} = 32$, $C = 64$, $c = 128$, $\bar{c} = 256$, $\bar{\bar{c}} = 512$ u. s. w. Das höchste C am Klaviere (das viermal gestrichene C) hat den Werth 2048, mithin das darauf folgende G, der Ton der letzten Klaviertaste, den Werth $2048 \times {}^3/_2 = 3072$. Diesem nach entsprechen dem $\bar{a}$, welches der Ton ist, den die a Saite einer Violine gibt, 426,7 Schwingungen in der Secunde. Nach Fischer's sorgfältigen Versuchen (Abhandl. der Berlin. Akademie der Wissensch. Berlin 1825) beträgt die Anzahl der Schwingungen für $\bar{a}$ nach der Stimmung der großen Oper zu Paris 431, nach dem Theater Fendeau 428, und nach dem italienischen Theater in Paris 424 Schwingungen; nach Scheibler's sehr genauen Messungen macht der Ton $\bar{a}$ in einer Secunde 443,56 Schwingungen (Pogg. Ann. 32. 333). Der große Unterschied zwischen dem berechneten und nach Versuchen gefundenen Werthe liegt in der etwas willkürlichen Annahme des Grundtones. Der Umfang der für uns wahrnehmbaren Töne beträgt kaum 9 Octaven. Dem tiefsten Männertone entsprechen, wenn man dafür F annimmt, 86, dem höchsten ($\bar{a}$ als Brustton) 427 Schwingungen in der Secunde, dem tiefsten Tone eines Frauenzimmers hingegen (g) 192, dem höchsten ($\bar{\bar{\bar{f}}}$) 1280 Oscillationen, welche beiden Extreme sich jedoch in der Regel nicht in einem Individuum vereinigt vorfinden. Die längste Tonwelle in der Luft bei 16 Schwingungen in einer Secunde hat, wenn die Geschwindigkeit des Schalles = 1024 P. Fuß angenommen wird, die Länge von 1024 : 16 = 64 P. Fuß, die kürzeste beträgt 9 Linien.

C. Stehende Schwingungen der Körper.

379. Wenn ein der Wellenbewegung fähiger Körper an einer Stelle einen Stoß, Schlag rc. erhält, so entsteht daselbst eine Welle, die bis zu den Grenzen dieses Körpers fortschreitet, an diesen aber reflectirt wird. Wiederholt sich der Stoß schnell hinter einander, so begegnen die reflectirten Wellen den directen, beide durchkreuzen sich und können unter den gehörigen Umständen eine **stehende Oscillation** erzeugen. Hat nämlich der Körper eine regelmäßige Gestalt; erfolgen die Stöße in gleichmäßigen Intervallen; stehen die Dimensionen der erregten Wellen zu den Abmessungen des Körpers in einem schicklichen Verhältnisse; so findet eine constante regelmäßige Interferenz der directen und reflectirten Wellen Statt; gewisse Puncte bleiben, weil sich da die Bewegung aufhebt, in Ruhe, und bilden Flächen, durch welche der Körper in Partien getheilt wird, die unter einander und zum Ganzen ein solches Ebenmaß haben, daß je zwei an einander grenzende Partien gleiche und entgegengesetzte Schwingungen vollbringen. Die Flächen, worin die ruhenden Puncte liegen, durchschneiden die Begrenzung des Körpers in Linien, welche auf der Oberfläche des Körpers durch geeignete Mittel als ruhende Linien wahrgenommen werden können; man nennt sie **Knotenlinien**. Ein zu solcher Schwingungsweise tauglicher Körper läßt sich stets auf mehrere Arten in schwingende Partien zerlegen, die sich an den durch die Knotenlinien bezeichneten Stellen, indem sie während der Bewegung stets

gleiche und entgegengesetzte Kräfte gegen einander ausüben, gleichsam das Gleichgewicht halten; es können sogar mehrere dieser Abtheilungsarten zu gleicher Zeit vorhanden seyn, und es sind verschiedene Anordnungen der Knotenlinien nicht nothwendig mit einer verschiedenen Schwingungsdauer verbunden. Aus allen Arten fortschreitender Wellenbewegung können stehende Schwingungen entspringen; es gibt daher solche Schwingungen in begrenzter Luft, in tropfbaren Körpern, an Saiten, Stäben, gespannten Membranen, Platten, Glocken u. dgl., und dieselben können theils longitudinal, theils transversal, an runden Körpern auch drehend erfolgen. Das Selbsttönen der Körper wird durch stehende Oscillationen bewirkt; die bloße Fortpflanzung des Schalles beruht auf fortschreitenden Schwingungen.

Körper, welche nur geringe Elasticität zeigen, sind zu stehenden Oscillationen nicht tauglich; daher tönt eine Bleimasse nicht, sie mag wie immer gestaltet seyn. Ist ein Körper unregelmäßig geformt, so treffen an jedem Puncte im Innern desselben unzählige Wellen von allen möglichen Richtungen und von allen Graden der Verdichtung und Verdünnung zusammen und heben sich schnell auf. Darum tönt ein Glasklumpen ungeachtet seiner Elasticität nicht, wohl aber eine Glasplatte. Wenn mehrere Stöße hinter einander angebracht werden, so ist es genug, wenn nur einige derselben in regelmäßigem Tempo auf einander folgen, weil die schon gebildeten stehenden Wellen bald die übrigen Stöße gehörig reguliren, wie dieses beim Streichen gespannter Saiten, elastischer Platten rc. mit einem Violinbogen der Fall ist.

380. Die Eigenthümlichkeiten der stehenden Schwingung sind: 1) Es findet dabei kein wahrnehmbares Fortschreiten der Wellen Statt, sondern es verwandelt sich nur die Verdichtung in eine Verdünnung, die Excursion nach einer Seite in die Excursion nach der entgegengesetzten Seite, und umgekehrt. 2) Die schwingenden Theile haben bei der größten Abweichung von der natürlichen Lage die kleinste Geschwindigkeit (= 0), bei dem Eintreten in die natürliche Lage aber die größte Geschwindigkeit. Da sie deßwegen, der Trägheit gemäß, über die natürliche Lage hinausgehen, so folgt daraus 3) daß eine stehende Schwingung fortdauert, nämlich sich öfters wiederholt, wenn auch die erregende Ursache aufgehört hat zu wirken. Bei den fortschreitenden Wellen findet gerade das Gegentheil Statt; die schwingenden Theile haben bei der größten Abweichung von der Gleichgewichtslage auch die größte Geschwindigkeit, und es ist die Geschwindigkeit dieser Abweichung proportionirt; bei dem Eintreten in die natürliche Lage ist die Geschwindigkeit der Theilchen auf Null herabgesunken und kein Grund zu weiterer Bewegung vorhanden, wenn nicht von Seite einer äußeren Ursache durch wiederholte Störung des Gleichgewichtes eine neue Veranlassung dazu geben wird.

Zur Erläuterung des Gesagten, insbesondere zur Aufhellung des Vorganges bei der Bildung stehender Schwingungen aus fortschreitenden Wellen, werden nachfolgende Bemerkungen behülflich seyn: Eine angeschlagene Saite, eine Glocke rc. klingt lange nach dem Schlage fort; nur wenn sie gedämpft wird, hört die stehende Oscillation gleich auf; eine lange gespannte Schnur, an der man durch Seitwärtsbewegen

eines Stückes an dem einen Ende eine transversale Welle erregt hat, kommt augenblicklich zur Ruhe, sobald die Welle ihren Ort verlassen hat, und bewegt sich an dieser Stelle erst wieder, nachdem die an dem andern Ende reflectirte Welle zurückgekommen ist. Man kann hiebei die Welle viele Male hin und her laufen sehen. Wiederholt man aber die Einwirkung, und sendet dadurch den abgehenden immer neue Wellen nach; so bildet sich, wenn die halbe Wellenlänge, nämlich die Ausbeugung nach der einen oder nach der andern Seite für sich allein genommen, ein aliquoter Theil der Länge der Schnur ist, alsbald eine stehende Schwingung; man sieht kein Fortlaufen der Wellen mehr, sondern bloß ein Hin- und Herwogen einzelner gleichen Theile der Schnur, wobei die Bewegungen je zweier an einandergrenzenden Stücke entgegengesetzt sind, und die Theilungspuncte in Folge der gleichen und entgegengesetzten Züge, die sie fortwährend erfahren, in Ruhe bleiben, also Schwingungsknoten darstellen.

Die Bildung stehender Schwingungen läßt sich sehr deutlich an Wellen tropfbarer Flüssigkeiten wahrnehmen, wenn man nämlich in einem regelmäßigen Gefäße in gewissen Zeitabschnitten gleich breite Wellen erregt, so daß die directen Wellenthäler den reflectirten und eben so die directen Wellenberge den zurückgeworfenen mit fast gleicher Kraft begegnen, sich an symmetrisch angeordneten Stellen mehrfach durchkreuzen, und auf diese Weise gleichweit von einander abstehende Wellenthäler und Wellenberge bilden, die wegen der entgegengesetzten Richtung der sich begegnenden Wellen nicht mehr von einem Orte zum andern fortrücken, sondern von denen sich immer nur ein Berg in ein Thal verwandelt und umgekehrt. Die Grenzen zwischen beiden bleiben daher in Ruhe, erscheinen somit als Schwingungsknoten und bilden, da sie fortwährend an dieselbe Stelle fallen, eine regelmäßige stehende Erscheinung. Die Länge (oder wie sie in diesem Falle auch genannt zu werden pflegt, die Breite) einer stehenden Welle wird durch den Abstand zweier nächsten Schwingungsknoten bestimmt, und ist nur halb so groß als jene der fortschreitenden, aus der sie entstanden ist. Ein schönes Beispiel einer solchen stehenden Schwingung kann man am Quecksilber sehen, das sich in einem regelmäßigen Gefäße befindet, in dessen Mitte man tactmäßig einen Körper senkrecht eintaucht und wieder herauszieht; insbesondere wenn man in ein cylindrisches Gefäß reines Quecksilber gibt, und durch einen feinen Trichter Quecksilber darauf fließen läßt; man kann da deutlich sehen, wie sich in der Nähe des entgegengesetzten Randes, durch Zusammentreffen reflectirter Wellen, gleichsam ein zweiter Wellenmittelpunct bildet. Mittelst der Wellenrinne kann man den Vorgang bei der Erzeugung stehender Oscillationen im Detail verfolgen. Um hievon eine deutliche Vorstellung zu bekommen, denke man sich AB (Fig. 157) als das Ende des die Wellenrinne bildenden schmalen, mit Wasser gefüllten Kastens, und zugleich als den Durchschnitt der Oberfläche des ruhenden Wassers mit einer verticalen, der Längenrichtung des Kastens parallelen Ebene. Es werde eine Welle erregt, die gegen B fortschreitet und die Länge AB hat. So wie sie in B anlangt, folge ihr eine zweite eben so beschaffene, dieser auf gleiche Weise eine dritte u. s. w. Es sey t die Zeit, in der eine Welle den Weg zurücklegt, welcher dem vierten Theile ihrer Länge gleichkommt. Ist vom Augenblicke des Eintreffens des vordersten Punctes der Welle in B die Zeit t verflossen, so hat der Wellenberg die halbe Länge durch sein Fortrücken eingebüßt, aber durch Reflexion eine doppelte Höhe erlangt, so, daß nun dieser halbe Wellenberg, das ganze Wellenthal und von der zweiten Welle wieder ein halber Wellenberg vorhanden ist (a). Nach Verlauf der Zeit 2t füllt der zurückkehrende,

reflectirte Wellenberg das Wellenthal A b c ganz aus, und bildet an seiner Stelle eine ebene Fläche, es ist aber von der zweiten Welle der ganze Berg vorhanden (β). Nach 3 t gibt der zurückkehrende, reflectirte Wellenberg der ersten Welle mit dem directen der zweiten seinen Berg von doppelter Höhe, das Wellenthal der ersten Welle hat die halbe Länge eingebüßt und durch das reflectirte halbe Wellenthal doppelte Tiefe gewonnen; auf der entgegengesetzten Seite befindet sich das halbe Wellenthal der zweiten Welle (γ). Nach 4 t hat sich der directe Wellenberg der zweiten Welle über das reflectirte Wellenthal der ersten Welle, und der reflectirte Wellenberg der ersten Welle über das directe Wellenthal der zweiten Welle gelagert. Da jedes Paar sich aufhebt, so besteht in diesem Augenblicke eine ebene Oberfläche der Flüssigkeit (δ). Nach 5 t hat der Wellenberg der zweiten Welle die halbe Länge verloren und durch Reflexion eine doppelte Höhe erreicht, das Wellenthal dieser Welle gibt zunächst an jenem mit dem reflectirten Wellenthale der ersten Welle ein doppelt so tiefes Wellenthal, und an dieses schließt sich der halbe Wellenberg der dritten Welle an, der durch den halben reflectirten Berg der ersten Welle eine doppelte Höhe erlangt, so daß nun die vorhandenen Wellen ganz symmetrisch angeordnet sind (ε). Nach 6 t sind die beiden Wellenthäler, welche vorhin das große Thal ausmachten, durch einander durchgegangen, und nehmen neben einander die ganze Lange des Gefäßes ein, zugleich fällt in eines dieser Thäler der reflectirte Wellenberg der zweiten Welle, ins andere der directe Wellenberg der dritten Welle. Dadurch wird die Oberfläche der Flüssigkeit wieder eben, wie in δ (ζ). Nach 7 t hat das halbe Wellenthal der zweiten Welle durch Reflexion eine doppelte Tiefe erlangt und die halbe Länge verloren, daran schließt sich der Wellenberg der dritten Welle durch den Wellenberg der reflectirten zweiten zur doppelten Höhe gebracht, und endlich das halbe Thal der ersten reflectirten Welle mit dem halben Thale der directen dritten an, so daß nun wieder die Wellenform ganz symmetrisch ist und eine der ε entgegengesetzte Lage hat (η). Von nun an findet man, daß sich immer nur die drei Formen ε, ζ, η wiederholen, daß immer ein Wellenberg mit einem Wellenthale wechselt, ohne fortzuschreiten, daß jeder Berg aus zwei Hälften besteht, wovon zuletzt beide im Sinken, und jedes Thal aus zwei Hälften, wovon beide im Steigen begriffen sind. Was hier am Ende A B des Kastens vorgeht, findet auch in den vorderen Theilen Statt; sollen die am Anfange des Kastens reflectirten Wellen in das Ganze passen, so muß die Hälfte der Wellenlänge ein aliquoter Theil der Länge des Kastens seyn.

Ganz auf dieselbe Weise kann man sich von dem Vorgange bei der Bildung stehender Schwingungen an gespannten Saiten, Stäben u. dgl. gewissermaßen auch in einer Luftsäule Rechenschaft geben, wenn man nur auf die Gestaltung der Welle bei der Reflexion am Ende der Saite, des Stabes, der Luftsäule rc. gehörig achtet. So weichen die transversalen Wellen an einer Saite von dem, was die Wasserwellen zeigen, darin ab, daß an den Enden der Saite die reflectirte Ausbiegung die entgegengesetzte Lage erhält. Bei den Luftwellen hat man zu berücksichtigen, ob die Reflexion an dem offenen oder geschlossenen Ende einer Röhre vor sich geht (370), und in beiden Fällen den Einfluß, den die Beweglichkeit der Körpertheilchen, worin die Reflexion Statt findet, auf das Phänomen äußert, in Erwägung zu ziehen, welcher Einfluß besonders bei einer offenen Röhre sehr bedeutend ist und die theoretische Untersuchung erschwert. Man kann sich zur Darstellung longitudineller Wellen derselben Zeichnung bedienen, welche für transversale sich von selbst aufdringt, wenn man nämlich auch Verdichtun-

gen und Verdünnungen durch entgegengesetzte Ausbiegungen einer krummen Linie anzeigt.

381. Stehende Querschwingungen einer gespannten Saite werden hervorgebracht, wenn man einen Geigebogen rechtwinkelig auf die Saite aufsetzt und sie damit streicht. Sie schwingt dabei entweder der ganzen Länge nach, und nimmt dann bei der größten Excursion die Gestalt AFB und AfB an (Fig. 158), wo AB die ruhende Saite vorstellt, oder sie schwingt mit Schwingungsknoten. Mit einem Schwingungsknoten schwingt sie so, daß sie abwechselnd die Gestalt AFDfB, Fig. 159, und die entgegengesetzte annimmt, mit zweien so, wie Fig. 160 zeigt. Man kann eine solche Unterabtheilung einer Saite leicht hervorbringen, wenn man sie z. B. im vierten Theile ihrer Länge mit einem Finger sanft berührt, und den kürzeren Theil mit dem Bogen streicht. Setzt man auf verschiedene Puncte der Saite, mitunter auch auf die, welche sie in vier gleiche Theile abtheilen, kleine Papierstreifen wie Reiter, und verfährt wie vorhin, so bleiben die auf die Viertheilungspuncte aufgesetzten allein sitzen, und die übrigen springen herab. Jedes zwischen zwei unmittelbar auf einander folgenden Schwingungsknoten befindliche Stück einer Saite schwingt dergestalt, als ob bloß eine kürzere in diesen Puncten befestigte Saite vorhanden wäre. Bedeutet nun l die Länge eines durch zwei Schwingungsknoten oder Befestigungspuncte begrenzten, selbst aber keine Schwingungsknoten enthaltenden Stückes einer Saite, p dessen Gewicht, q die Spannung der Saite in Gewicht ausgedrückt, g die Acceleration der Schwere, so besteht, wie die theoretische Untersuchung lehrt, für die Anzahl n der Schwingungen, welche die Saite während einer Secunde macht, die Formel $n = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{gq}{pl}}$. Bezeichnet s das specifische Gewicht des Materiales der Saite, und d ihren Durchmesser, so ist, der cylindrischen Form der Saite wegen, $p = \frac{1}{4}\pi d^2 l s$, mithin $n = \frac{1}{ld}\sqrt{\frac{gq}{\pi s}}$. Dieß ist zugleich der Ausdruck der Tonhöhe, die daher der Quadratwurzel der Spannung direct, und der Länge, der Dicke und der Quadratwurzel des specifischen Gewichtes der Saite verkehrt proportionirt ist. Wird also eine Saite zuerst ihrer ganzen Länge nach, dann mit 1, 2, 3, 4, 5 rc. Schwingungsknoten zum Tönen gebracht, so gibt sie nach der Reihe den Grundton, die Octave, die Quinte der letzteren, die höhere Octave, deren große Terz u. s. w. Es kann sogar eine Saite der ganzen Länge nach und zugleich in mehreren aliquoten Theilen ihrer Länge schwingen, und dadurch gleichzeitig mehrere consonirende Töne hören lassen. Aus der Consonanz der Töne, welche den genannten Schwingungsweisen einer Saite entsprechen, erklärt sich auch die Wirkung der Aeolsharfe, einer aus mehreren über einen Resonanzboden gespannten, gleichgestimmten Saiten bestehenden Vorrichtung, welche einem Luftzuge ausgesetzt in harmonischen Tönen erklingt.

Versetzt man eine hinreichend lange, am besten mit Metall überspponnene Darmsaite in Querschwingungen; so hört man nebst dem Haupttone, den sie gibt, wenn sie nach der ganzen Länge schwingt, mehrere höhere Nebentöne, und zwar, wie gesagt, die nächst höhere Octave, die Quinte dieser Octave u. s. w. Da nun die Spannung und Dicke der Saite unverändert geblieben ist, so muß mit der ganzen Saite auch zugleich ein Theil schwingen, der die Octave, ein anderer, der die Quinte der Octave gibt u. s. f., mithin muß sie sich in Stücke theilen, deren Länge $1/2$, $1/3$, $1/4$ 2c. der ganzen Saite beträgt, und jeder Theil muß so schwingen, als wäre er für sich bestehend. Eine Saite die der ganzen Länge nach und zugleich in aliquote Theile getheilt schwingt, muß nothwendig eine Gestalt annehmen, die aus der Gestalt, welche beiden Schwingungsarten zukommt, zusammengesetzt ist. Hat z. B. die Saite AB (Fig. 159) die Krümmung AHB, wenn sie der ganzen Länge nach schwingt, hingegen die Gestalt AFDfB, wenn jede ihrer Hälften schwingt; so entsteht aus diesen beiden die Krümmung AECeB, die man erhält, wenn man HE = GF und he = gf macht, endlich durch A, E, C, e, B die Curve zieht. Der Hergang der Bildung der stehenden Schwingung einer Saite aus den fortschreitenden Wellen (380) erklärt, wie es kommt, daß die bloße Berührung einer gestrichenen Saite in einem Theilungspuncte dieselbe nöthiget sich in mehrere, gleichsam selbstständig schwingende Theile abzutheilen. Daß eine tönende, nach der Quere schwingende Saite nicht gerade in der Mitte ihre größte Ausbeugung haben muß, und daß diese, der Tonhöhe unbeschadet, an jeder Stelle zwischen den zwei Enden Statt finden kann, ist für sich klar. Eine Saite hat bei der größten Ausbeugung immer die größte Länge und Spannung. Ruhen die Enden einer Saite nicht auf scharfen, sondern auf nach einem bestimmten Gesetze abgerundeten Stegen; so muß sich die Saite nach Maßgabe ihrer größeren oder kleineren Excursion mehr oder weniger abwickeln, und ihre durch dieses Abwickeln vermehrte Verlängerung kann durch die vermehrte Spannung genau compensirt werden, so daß bei größeren und kleineren Excursionen Töne von gleicher Höhe entstehen. (Weber in Pogg. Ann. 28. 1.)

382. Längenschwingungen werden erregt, wenn man den Bogen unter einem sehr spitzen Winkel auf die Saite aufsetzt und sie damit streicht. Dabei ziehen sich alle oder nur einzelne Theile der Saite abwechselnd zusammen, und dehnen sich wieder aus. Schwingt die Saite AB (Fig. 161) ohne Schwingungsknoten, so stützen sich ihre Theile bei der Bewegung an die befestigten Enden; berührt man sie in der Mitte C leicht, so bildet sich da ein Schwingungsknoten, und die Theile der Saite bewegen sich abwechselnd gegen und von einander, wie die Pfeile zeigen. Auf gleiche Weise kann man eine Abtheilung in 3, 4 2c. Theile, mithin 2, 3 2c. Schwingungsknoten erzeugen, wenn man die Saite in $1/3$ oder $1/4$ 2c. ihrer Länge sanft berührt. Fig. 162 stellt die Schwingungsweise, wenn drei Schwingungsknoten vorhanden sind, dar. Nimmt man die Schwingungsanzahl der ganzen Saite als Einheit an, so lassen sich die Schwingungszahlen bei 1, 2, 3 2c. Schwingungsknoten durch 2, 3, 4 2c. ausdrücken. Der absolute Werth der Tonhöhe ist $n' = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g}{k}}$, wobei l die Länge der Saite und k die Verlängerung bedeutet, welche ein Stück der Saite,

dessen Länge = 1 ist, erfährt, wenn es durch sein eigenes Gewicht gedehnt wird. Die Gesetze der Längenschwingungen haben sonach mit denen der transversalen nichts gemein, als daß sich die Höhe des Tones nach der Länge der Saite richtet, und die Schwingungszahlen dieser Länge verkehrt proportionirt sind; aber die durch Längenschwingungen hervorgebrachten Töne sind durchaus höher als jene, welche bei Querschwingungen derselben Saite entstehen, gar nicht von der Dicke und wenigstens in so fern die bereits vorhandene Dehnung den Werth von k nicht merklich afficirt, wie es bei langen oder schwächer gespannten Saiten der Fall ist, auch nicht von der Spannung, wohl aber vom Materiale der Saite abhängig. Man muß daher zu Versuchen über diese Schwingungen, welche der Formel nicht widersprechen sollen, entweder sehr lange Saiten nehmen, oder die Spannung nicht zu sehr steigern.

Die Längenschwingungen stehen zu den transversalen einer und derselben Saite bei gleichen Umständen in einer solchen Beziehung, daß sich das Quadrat der Schwingungsanzahl bei ersteren zum Quadrate der Schwingungsanzahl bei letzteren verhält wie die Saitenlänge zu der durch ihre Spannung erzeugten Verlängerung. Dieß ist eine unmittelbare Folge der obigen Formeln. Denn bedeutet l die Länge, p das Gewicht der Saite, so hat ein Stück, dessen Länge = 1 ist, das Gewicht $\frac{p}{l}$. Da nun dieses Gewicht an der Länge 1 die Dehnung k hervorbringt, so erhält die Länge l durch eben dieses Gewicht die Dehnung kl. Nennt man nun λ die Verlängerung von l bei der Spannung q, so ist $\lambda : kl = q : \frac{p}{l}$, mithin hat man $k = \frac{p\lambda}{q\,l^2}$. Dieses Resultat in die Formel für n′ eingeführt, gibt $n' = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{gq}{p\lambda}}$. Hieraus, und aus dem Werthe für n (381), ergibt sich $\frac{n'}{n} = \sqrt{\frac{l}{\lambda}}$. Auch ist leicht einzusehen in welcher Beziehung die Werthe von n und n′ zu den an einem früheren Orte (348, 351) angegebenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der transversalen und longitudinalen Wellen stehen. Man erhält nämlich letztere Werthe aus ersteren, wenn man diese mit 2l multiplicirt. Denn die Distanz zweier nächsten Schwingungsknoten oder l ist die Hälfte der Wellenlänge; die Wellenlänge aber das Product aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit c und der Schwingungsdauer $\frac{1}{n}$. Daher besteht die Gleichung $2l = \frac{c}{n}$, d. i. $c = 2ln$. Die Schwingungen einer Saite mögen transversal oder longitudinal seyn, so bewegen sich ihre kleinsten Theile doch immer nach der Länge und nach der Quere zugleich, indem bei jeder wie immer gearteten Schwingung nur eine Annäherung oder eine Entfernung der kleinsten Theile von einander Statt finden kann, und in sofern ist es wohl begreiflich, daß transversale Schwingungen fast immer von longitudinalen begleitet sind und umgekehrt, so wie daß eine transversal wirkende Kraft Längentöne erzeugen kann, und in sofern besteht das Tönen einer Saite allerdings in einer Molecularbewegung; aber diese Bewegung ist in der That eine oscillirende,

weil die Theilchen nach einer und dann nach der entgegengesetzten Richtung aus der Lage des Gleichgewichtes treten; der Inbegriff dieser Bewegungen aller Theile macht nun die Bewegung der Saite aus, und diese ist also auch eine oscillirende. Darum sagt man schlechtweg das Tönen einer Saite entstehe durch die oscillirende Bewegung derselben. (Vergleiche Pellisow in Schweigg. 67. 169.)

383. Eine schmale, nur der Länge nach gespannte Membrane schwingt so wie eine Saite, und die Knoten aller Längenfasern bilden eine Knotenlinie. Ist diese Membrane breiter, so befolgt sie in ihren Schwingungen Gesetze, wie elastische Scheiben, von denen in der Folge die Rede seyn wird. Eine allerseits gespannte Membrane, wie z. B. ein Trommelfell, kann einige Schwingungen annehmen, die mit denen der Saiten übereinkommen, und bei diesen befolgen auch die Töne nach Riccati's Erfahrungen dieselben Verhältnisse, wie bei Saiten; aber einige Schwingungsarten weichen von denen an Saiten bedeutend ab, ja es sind manche, die bei Saiten Statt finden, für gespannte Membranen ganz unmöglich. Durch aufgestreuten Sand kann man die Schwingungsknoten an gespannten Membranen sichtbar machen. Dieses geht besonders leicht von Statten bei gespannten, dünnen Häutchen aus Kautschuk, die man durch einen Luftstoß zum Tönen bringt, indem man in eine senkrecht gegen das Häutchen stehende, aber dasselbe nicht berührende Röhre bläst. (Marx in Pogg. J. 65. 148; 66. 109)

384. Die Schwingungen elastischer Stäbe geschehen nach anderen Gesetzen, als die der Saiten, weil ihre Elasticität nach allen Richtungen, nicht bloß nach der Länge, wirkt. Da sie für sich, ohne künstliche Spannung, schon elastisch sind; so kann man die Versuche mit ihnen auf mannigfaltige Art abändern, man kann sie entweder an einem Ende, oder nur in der Mitte, oder an beiden Enden befestigen, an einem Ende an einen harten Körper anstemmen, am anderen frei lassen oder befestigen, oder endlich an beiden Enden anstemmen.

385. Wenn man solche gleich dicke und gleichförmig dichte Stäbe, wie z. B. Stahl- oder Glasstangen oder schmale Glasstreifen, mit einem Bogen rechtwinkelig streicht; so geben sie wahrnehmbare Töne, deren Höhe bei übrigens gleichen Umständen im geraden Verhältnisse mit der Dicke, und im verkehrten mit dem Quadrate der Länge steht. Sollen Schwingungsknoten entstehen, so darf man den Stab nur an der Stelle, wo einer hinfällt, leicht berühren und ihn dann streichen; an flachen Stäben kann man die Schwingungsknoten durch Sand sichtbar machen. Da zeigt es sich, daß sich alle an einem parallelepipedischen Stabe möglichen Knotenliniensysteme in gewisse Classen bringen lassen, nach Maßgabe der Anzahl der Stellen, wo sie die Are der schwingenden Fläche des Stabes schneiden. Die in eine Classe gehörigen schneiden diese Are nicht bloß in gleich vielen, sondern auch genau an denselben Stellen. Mit der Anzahl der Schwingungsknoten nimmt die Höhe des Tones zu. Den tiefsten Ton gibt daher ein Stab, der ohne Knoten schwingt, wie AB in Fig. 163. Ist dieser in A befestigt, in B aber frei, so macht er beim Schwingen mit seiner Rich-

tung AB im ruhigen Zustande Winkel, deren Scheitel im befestigten Punkte A liegen; bei jeder anderen Schwingungsart wird diese Richtung in so vielen Puncten durchschnitten, als Schwingungsknoten vorhanden sind. Bei einem derselben schwingt er, wie Fig. 164, bei zweien, wie Fig. 165 zeigt. Ist der Stab in A bloß angestemmt, in B ganz frei, so hat er bei der einfachsten Schwingungsart schon einen Schwingungsknoten, aber seine Gestalt weicht von der in Fig. 164 bezeichneten ab, und ist mehr gekrümmt, indem sich da die Theile schon nahe am angestemmten Ende mehr von ihrer natürlichen Richtung entfernen können, als es im vorhin erwähnten Falle möglich war. Sind beide Enden des Stabes frei, so hat er bei der einfachsten Schwingung schon zwei Schwingungsknoten. Ein beiderseits angestemmter Stab schwingt wie eine Saite, nur mit einer anderen Folge der Tonhöhen; ja selbst wenn er an beiden Enden befestigt ist, haben seine Schwingungen noch mit denen der Saiten viele Aehnlichkeit, es sind aber sowohl die Tonverhältnisse als auch die Krümmungen von denen eines beiderseits bloß angestemmten Stabes merklich verschieden. Spannt man einen dünnen, polirten Stahlstab, z. B. eine durch Hämmern gehärtete Stricknadel, an einem Ende in einen Schraubstock ein, und versetzt ihn durch einen Hammerschlag in Querschwingungen; so kann man die Gestalt desselben beim Oscilliren und den Ort seiner Schwingungsknoten genau sehen. Hat er am freien Ende ein polirtes Knöpfchen, so gibt dieses, vom Sonnenlichte oder von einer Kerzenflamme beleuchtet, beim Schwingen sehr symmetrische Figuren. Wheatstone's Kaleidophon. (Schweigg. J. 50. 490.)

Die Tonhöhen eines einerseits befestigten, andererseits freien Stabes, der mit 1 oder 2 Schwingungsknoten schwingt, verhalten sich, wie die Quadrate der Zahlen 2 und 5; wenn er aber mehrere Knoten hat, vom zweiten an, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 ꝛc. Ist ein Ende angestemmt, das andere frei, so folgen die Töne auf einander, wie die Quadrate von 5, 9, 13, 17 ꝛc; sind beide Enden frei, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 ꝛc. Die Tonreihe eines beiderseits angestemmten Stabes folgt den Quadraten von 1, 2, 3, 4 ꝛc., die eines beiderseits befestigten den Quadraten von 3, 5, 7 ꝛc. Ein einerseits befestigter, andererseits angestemmter Stab befolgt dasselbe Gesetz der Tonreihe, wie ein einerseits angestemmter, andererseits freier. Die Lage der Knotenlien eines elast. Stabes kann man durch Versuche, noch besser aber durch Rechnung bestimmen. Daniel Bernoulli in Com. Acad. Petrop. tom. 8.; Euler in Act. Acad. Petrop. 1779. 1. 103. Die Vergleichung der Resultate mit der Erfahrung gibt Strehlke in Pogg. Ann. 27. 505; auch in Dove's Repertorium 3. 108. Sehr wichtig sind die neueren math. Arbeiten von Poisson und Cauchy über diesen und verwandte Gegenstände. Die Resultate der Rechnung und der zur Prüfung derselben unternommenen Versuche sammt Angabe der Quellen findet man in Fechner's Repertor. 1. 264 u. f.

386. Reibt man einen elastischen, hinreichend langen, glatten, möglichst geraden, dünnen Stab nach der Länge mit einem befeuchteten oder mit Harz überstreuten Lappen; so geräth er in Längen-

schwingungen. Glasstreifen versetzt man in solche Schwingungen am leichtesten durch einen Schlag, oder durch Reiben eines mit demselben der Länge nach verbundenen Glasstabes. Bei diesen Schwingungen theilt sich der Stab nach Umständen in gleichmäßig schwingende Theile, die durch Schwingungsknoten von einander getrennt sind, und läßt Töne hören, die unter einander in sehr einfachen Verhältnissen stehen. Um die Schwingungsknoten sichtbar zu machen, wendet man Sand an, oder steckt Papierblättchen daran, die sich während der Schwingungen gegen die Ruhestellen hinschieben. Ein an einem Ende befestigter Stab schwingt entweder seiner ganzen Länge nach, oder er zeigt einen Schwingungsknoten der um $\frac{1}{3}$ seiner Länge vom freien Ende absteht (Fig. 166) oder deren zwei (Fig. 167) oder drei (Fig. 168) u. s. w. Dabei ist das freie Ende stets halb so lang als jedes der zwischen zwei ruhenden Puncten liegenden Stücke, und die Schwingung besteht in einem abwechselnden Zusammendrängen und Auseinandergehen der Materie des Stabes in der Nähe der ruhenden Puncte, wie es die beigesetzten Pfeile angeben. Die Tonfolge entspricht hiebei den Zahlen 1, 3, 5, 7,... Ist der Stab ganz frei, so bildet sich bei der mit dem tiefsten Tone verbundenen Schwingungsweise ein Schwingungsknoten in der Mitte (Fig. 169); es können aber auch zwei, drei,... Schwingungsknoten Statt finden, wobei wieder das Gesetz obwaltet, daß jedes freie Stück die Hälfte eines zwischen zwei unbeweglichen Puncten enthaltenen ist. Sieht man den tiefsten Ton, den der an einem Ende befestigte, am andern freie Stab gibt, als Grundton an, so sind die relativen Werthe der Töne des ganz freien Stabes 2, 4, 6,... und dieselbe Tonfolge tritt auch ein, wenn der Stab an beiden Enden befestiget ist. Die Töne bei ähnlichen Schwingungsweisen gleich langer Stabe hängen im Allgemeinen nicht von der Dicke derselben, wohl aber vom Materiale ab.

Ist l die Distanz zweier unmittelbar auf einander folgenden festen Puncte, oder die doppelte Länge eines freien Endes des Stabes, n die absolute Tonhöhe, c die Geschwindigkeit einer fortschreitenden Welle im Stabe, so besteht die Gleichung $c = 2nl$. Sie kann, wie Chladni zuerst gewiesen hat, benützt werden, um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in Stäben von verschiedenem Material zu bestimmen. Handelt es sich bloß um eine Vergleichung dieser Geschwindigkeiten, so nehme man gleich lange Stäbe, und man hat, wenn c', n' einem zweiten Stabe derselben Länge l gehören: $c : c' = n : n'$. Hier stehen also die Geschwindigkeiten des Schalles mit den Tonhöhen bei gleicher Schwingungsweise in einerlei Verhältniß.

Die Anordnung der Schwingungsknoten und insbesondere die Verschiedenheit der Stellung derselben, je nachdem die Enden des Stabes unter gleichen oder verschiedenen Umständen wirken, ist eine Folge des Zusammentreffens der directen Wellen mit den reflectirten, und der Verschiedenheit der Stellung des verdichteten und verdünnten Theiles letzterer gegen die Richtung des Fortschreitens der Welle, je nachdem die Reflexion an einem freien oder an einem festen Ende eines Stabes vor sich geht. Zur Erläuterung dieses Gegenstandes und zur Uebung in solchen Betrachtungen mögen die Figuren 170, 171, 172 dienen, welche die Entstehung eines und zweier Schwingungsknoten an einem

beiderseits freien Stabe, und eines Schwingungsknotens, wenn ein Ende befestigt, das andere frei ist, graphisch darstellen. In diesen Figuren bedeutet die Ausbiegung der krummen Linie nach oben, Verdichtung, die nach unten, Verdünnung, deren Größen an jeder Stelle durch den Abstand der krummen Linie von der geraden angezeigt werden. Die Pfeile geben die Richtungen der den Verdichtungen oder Verdünnungen proportionirten Geschwindigkeiten der vibrirenden Theilchen in jeder einzelnen fortschreitenden Welle an; es geht daher ein verdichteter Wellentheil nach der Richtung seines Pfeiles, ein verdünnter, dem Pfeile entgegen. Jene Stellen, wo beide auf einander einwirkende Wellen fortwährend mit entgegengesetzten Pfeilen und gleich großen übereinstimmenden Zuständen (Verdichtung oder Verdünnung) auftreten, sind die Schwingungsknoten. Sie fallen in den in gleichen Zeitabschnitten auf einander folgenden, an den Horizontallinien vorgestellten Phasen der Bewegung in die durch die punctirten Verticallinien angegebenen Plätze. Die starken Verticallinien entsprechen den Orten der stärksten Bewegung der Theilchen, und man sieht, daß dort die natürliche Dichte herrscht, weil sich daselbst gleichzeitig eine gleich große Verdichtung und Verdünnung einstellt.

387. Außer den angeführten zwei Schwingungsarten sind Stäbe noch einer dritten fähig, der d r e h e n d e n. Man erregt sie am leichtesten an cylindrischen Stäben, die man an einem Ende in einen Schraubstock einspannt und am anderen in drehender Bewegung mit einem Bogen streicht. Durch Berühren an Stellen, wohin Schwingungsknoten fallen, kann man auch eine Abtheilung in schwingende Theile bewirken.

Die Längen-, Quer- und drehenden Schwingungen elastischer Stäbe stehen, wie die analytischen Untersuchungen von P o i s s o n und C a u c h y gelehrt haben, mit einander in einer solchen Verbindung, daß man aus der durch Erfahrung ausgemittelten Schwingungsanzahl bei einer dieser Schwingungsarten auf die bei den anderen schließen kann, und die Ergebnisse der Erfahrung bekräftigen die Resultate der Theorie.

388. Die hier dargestellten Gesetze der Schwingungen gerader Stäbe befolgen auch die g e k r ü m m t e n, nur mit dem Unterschiede, daß die Schwingungsknoten, zwischen welche die Biegung fällt, durch die Krümmung einander näher gerückt und so die Töne erhöht werden. Davon überzeugt man sich am leichtesten, wenn man eine Stange von Glas oder Metall nach und nach immer mehr biegt, und sie bei jedem Grade der Biegung zum Tönen bringt. Ein gabelförmiger Stab, wie unsere Stimmgabeln, gibt den tiefsten Ton, wenn man ihn an einem Ende faßt und am andern schlägt, oder mit einem Bogen streicht. Einen höheren Ton gibt er, wenn er mit zwei Knoten, wie in Fig. 173, und einen noch höheren, wenn er mit vier schwingt, wie aus Fig. 174 zu ersehen ist. Ein ringförmiger Körper theilt sich beim Schwingen in 4, 6, 8... gleiche Bogentheile, die nach entgegengesetzten Richtungen schwingen. Berührt man ihn an den Grenzen solcher Theile, und streicht ihn an einer Stelle, die zwischen zwei solchen Grenzen liegt; so bekommt man einzelne Töne heraus, die den Schwingungen der Theile entsprechen und desto höher sind, in je mehr solche Theile sich der Ring getheilt hat.

389. Bei der Erörterung der Gesetze dieser Schwingungen betrachtet man gewohnlich elastische Stäbe bloß als Linien, und sieht dabei gleichsam nur auf die relative Bewegung der Theile, welche in einer der Längenrichtung des Stabes parallelen Geraden sich befinden. Bei langen und dünnen Stäben kann dieses auch ohne merklichen Fehler geschehen; bei solchen hingegen, wo die Breite und Dicke so groß sind, daß sie einen merklichen Einfluß auf die Schwingungen des Ganzen nehmen, werden die aus solcher Voraussetzung abgeleiteten Gesetze merklich modificirt. So sind bei longitudinal schwingenden massiven Cylindern die Knotenlinien nicht, wie man es erwarten dürfte, Kreise, deren Ebenen auf der Axe des Cylinders senkrecht stehen, sondern sie weichen davon beträchtlich ab. Auch fallen die Schwingungsknoten an beiden Oberflächen eines hohlen Cylinders nicht in dieselben Querschnitte. Nach Poisson's Analyse erfolgt während einer Längenschwingung eines Stabes zugleich eine auf seine Axe senkrechte (normale) Schwingung, die mit jener isochron ist, und dort die größte Ausbeugung verursacht, wo bei jener ein Schwingungsknoten ist und umgekehrt. Selbst transversale Schwingungen scheinen von longitudinalen und drehenden Verschiebungen der Theile begleitet zu werden.

Sehr interessant sind in erwähnter Beziehung die Resultate, welche Savart (Ann. de Ch. 25. 255) über die Lage der Schwingungsknoten an Cylindern und langen Platten bekannt machte. Er hielt die zu untersuchenden Cylinder horizontal, behing sie von außen mit schmalen, ovalen Papierringen, vertheilte, wenn sie hohl waren, im Inneren derselben feinen Sand möglichst gleichförmig, und strich sie der Länge nach. Dabei fand er, daß die Schwingungsknoten hohler Cylinder nicht an beiden Oberflächen in dieselben Querschnitte fallen, sondern daß dort, wohin an der inneren Fläche ein Schwingungsknoten fällt, die Theile der äußeren Oberfläche die größte Bewegung haben. Als er eine solche Röhre um ihre Axe drehte, und in jeder Lage den Ort der Schwingungsknoten untersuchte, überzeugte er sich, daß die Knoten beider Oberflächen in schraubenförmigen Linien liegen, die aber nicht gleichförmig gebeugt um die Röhre herumgehen, sondern meistens aus zwei Stücken bestehen, wovon das eine in einem Querschnitte der Röhre liegt, während das andere mehr gerade ausgeht. Fig. 175 zeigt dieses für Eine Oberfläche. Bei einigen Röhren, die man in der Mitte hält und an einem Ende streicht, findet man die Schraubenlinie an einer Hälfte rechts, an der anderen links gewunden, und beide in der Mitte aufhörend; bei anderen findet man die Knotenlinie durch die ganze Röhre auf dieselbe Weise gewunden. Die Gebrüder Weber (Wellenlehre S. 555 und Schweigg. J. 44. 389; 45. 290 und 298) wollen an kurzen, weiten, sehr regelmäßigen Röhren die Knotenlinien der inneren Wand quer um den Cylinder liegend gefunden haben, jedoch so, daß sich jede derselben nur auf den halben Umfang eines Querschnittes erstreckte; für die andere Hälfte fiel sie in einen anderen Querschnitt. Von der spiralförmigen Anordnung der Knotenlinien bei den Längenschwingungen der Cylinder fand Savart selbst noch an schmalen, langen, schwingenden Platten eine Spur. Bringt man nämlich einen $\frac{1}{2}$—$\frac{3}{4}$ Z. breiten, langen, horizontalen und mit Sand bestreuten Glasstreifen zum Schwingen; so ordnet sich der Sand in parallele, auf der Länge des Streifens senkrechte Linien. Merkt man sich diese Stellen, kehrt dann den Streifen um, und ver-

setzt ihn aufs Neue in Längenschwingungen; so sammelt sich der Sand nicht mehr an den den vorigen gegenüber liegenden Stellen, ja wenn der Streifen 1—1½ L. dick ist, so liegen die nun vorhandenen Knotenlinien genau der Mitte zweier vorhin entstandenen gegenüber. An der schmäleren Seite der Platte liegen die Knotenlinien gar schief, als wollten sie die den beiden entgegengesetzten Flächen zugehörigen mit einander verbinden. An (1—2 Zoll) breiten Streifen erscheinen selbst die Knotenlinien der größeren Flächen gebogen.

390. Wenn elastische Platten an einer oder an mehreren Stellen fest gehalten und an einer anderen mit einem Bogen normal gestrichen werden, so bilden die Knotenlinien, die durch aufgestreuten Sand sichtbar gemacht werden, gewisse Figuren, welche man Klangfiguren, oder insbesondere nach ihrem Entdecker, Chladni'sche Klangfiguren nennt, und aus denen man auf die Art der Bewegung der Platten schließen kann. Um diese Figuren rein hervorzubringen, gebraucht man am besten Scheiben von grünem, dünnen Fensterglase, denen der scharfe Rand benommen worden ist; matt geschliffene Glastafeln gewähren den Vortheil, daß man die Klangfiguren mit einem fein gespitzten Bleistift nachzeichnen kann; es lassen sich aber auch Metallplatten und selbst Holzscheiben dazu brauchen. Man reicht meistens aus, wenn die Platten einen Durchmesser von 3—6 Zoll haben, nur für verwickeltere Figuren braucht man größere, am besten metallene Tafeln. Zum Bestreuen solcher Platten wählt man meistens farbigen Streusand, mit oder ohne beigemengten feinen Staubtheilchen (Lycopodium), wohl auch letztere allein. Die Sandtheile häufen sich an den Knotenlinien, die feinen Staubtheile (das Lycopodium) aber an den Stellen der stärksten Bewegung an. Die Form der Klangfiguren wird durch die Lage des Entstehungsortes der Wellen, durch die Länge der entstandenen Wellen und durch die Gestalt der Platte bestimmt, wie man leicht einsieht, wenn man bedenkt, daß sie aus dem regelmäßigen Zusammentreffen der directen und reflectirten Wellen entstehen. Daher geben Platten von verschiedener Gestalt auch verschiedene Klangfiguren, daher lassen sich auch in derselben Platte verschiedene Klangfiguren hervorbringen, je nachdem man mit dem Bogen stärker oder schwächer, schneller oder langsamer streicht, und dadurch gleichsam die Länge einer Welle bestimmt, endlich die Lage des Punctes, wo man die Platte hält, gegen den, welchen man streicht, abändert. Die Zeichnungen Fig. 176—182 stellen solche Klangfiguren an quadratförmigen und kreisrunden Scheiben vor, welche entstehen, wenn man sie in a hält und in b streicht. Man kann die an einer Platte von bestimmter Gestalt hervorbringbaren Klangfiguren, ähnlich denen an transversal schwingenden Stäben nach Maßgabe der Anzahl und Lage gewisser Puncte, wo Knoten hinfallen, in mehrere Classen bringen. So z. B. machen bei einer kreisrunden Scheibe alle bloß aus Durchmessern bestehenden Figuren eine eigene Classe, die aus concentrischen Kreisen ohne Durchmesser bestehenden eine andere, die aus Kreisen und Durchmes-

fern gebildeten wieder eine andere ꝛc. Die Klangfiguren beider Oberflächen liegen, wenigstens bei dünnen Scheiben, genau über einander.

391. Die einfachste Figur ist immer von dem tiefsten Tone begleitet, den eine Scheibe gibt, und je zusammengesetzter eine Klangfigur wird, desto höher fällt auch der Ton aus. So gibt eine Quadrattafel bei der Behandlung, wo auf ihr die Fig. 176 entsteht, den tiefsten Ton; ein höherer begleitet die Fig. 177, und ein noch höherer die Fig. 178. Doch gehört nicht zu jedem Tone eine eigene Klangfigur; denn ähnliche, jedoch ungleich große Scheiben geben bei gleicher Behandlung gleiche Figuren, aber Töne von verschiedener Höhe; und in derselben Scheibe kann man oft durch eine kleine Verrückung der gehaltenen Stelle eine Aenderung der Figur hervorbringen, ohne daß die Höhe des Tones nur im geringsten geändert wird. So geht in einer Quadrattafel die Fig. 179 alsogleich in 180 über, wenn man die fest gehaltene Stelle a nur wenig einwärts rückt, und doch bleibt die Höhe des Tones unverändert. Die zu ähnlichen Klangfiguren gehörenden Töne von Platten aus derselben Materie und von ähnlicher Form der Oberfläche verhalten sich gerade wie die Dicken der Platten, und verkehrt wie die Quadrate homologer Abmessungen der Oberfläche.

392. Die Knotenlinien sind, nach Chladni, bald gerade, wie in Fig. 176—179, bald gekrümmt, wie in Fig. 180, und die Krümmungen können zu allerlei krummen Linien gehören; wenn sie aber nicht in sich zurückkehren, so erstrecken sie sich immer bis an die Ränder der Scheibe, und hären nie in derselben auf. Die Entfernung einer Knotenlinie von einer anderen ist immer ein aliquoter Theil der Dimension der Platte, welche auf ihnen senkrecht steht. Verwickelte Klangfiguren haben das Eigene, daß sie aussehen, als wären sie aus einfachen zusammengesetzt, die man an ähnlichen Tafeln erzeugen kann. So entsteht die Fig. 183, die man an einer etwas großen Quadrattafel erzeugen kann, auch, wenn man 4 kleine Tafeln, an denen die Figur 176 hervorgebracht wurde, so zusammensetzt, wie die stark ausgezogenen Linien zeigen.

393. Die feineren Staubtheile machen, wie schon vorhin gesagt worden, die Stellen der stärksten Bewegung sichtbar. Eine solche muß sich natürlich zwischen zwei Knotenlinien befinden, und daselbst findet man, meistens in runden Häufchen, den feinen Staub gesammelt, wenn die Platte zu schwingen aufgehört hat; während des Schwingens derselben bildet er kleine Wölkchen ober der betreffenden Stelle. Der Grund, warum sich solche Staubwolken und Staubfiguren bilden, liegt nach Faraday in der mechanischen Wirkung der schwingenden Oberfläche auf die darüber befindliche Luft. Die im Aufsteigen begriffenen Theile der schwingenden Platte treiben nämlich die darüber befindliche Luft vor sich hin, und zwar an den Stellen der stärksten Bewegung mehr als in der Nachbarschaft der Knotenlinien. Bei dem Abwärtsgehen der schwingenden Theile kann aber die Luft nicht so schnell den Raum über den Stellen der stärksten Bewe-

gung ausfüllen, als dieß bei den Knoten der Fall ist; es entstehen daher von dem Knoten aus zwei entgegengesetzte Luftströme zu den Stellen der stärksten Bewegung hin, führen den feinen Staub mit sich und lassen ihn an diesen liegen. Die Richtigkeit dieser Ansicht beweiset der Umstand, daß in stark verdünnter Luft selbst der feinste Staub nach den Knotenlinien wandert. Einen ähnlichen Grund haben die im Sonnenlichte besonders deutlich hervortretenden Kräuselungen, in welche eine auf einer schwingenden Platte befindliche tropfbare Flüssigkeit geräth. (Faraday in Pogg. Ann. 26, 193, und Strehlke in Dove's Repertorium 3, 124.)

394. Die Schwingungen gekrümmter Tafeln, z. B. der Glocken, sind ganz denen ähnlich, welche bei ebenen Flächen bemerkt werden. Eine Glocke theilt sich beim Schwingen in eine gerade, größere oder kleinere Anzahl Theile, die zugleich mit dem Ganzen schwingen. Daher hört man bei einer Glocke außer dem eigenthümlichen, tiefsten Tone mehrere höhere, ja man kann ihr jeden dieser Nebentöne für sich entlocken, wenn man sie an einem oder an zwei Puncten, wohin eine Knotenlinie fällt, sanft hält, und die Mitte mit einem Bogen in der Richtung des Durchmessers streicht. Ist sie dabei mit Wasser gefüllt oder mit angefeuchtetem Sande bedeckt; so werden die Knotenlinien durch das Kräuseln des Wassers oder durch die Anhäufung des Sandes sichtbar. Durch das letztere Mittel kann man die ruhenden Stellen der äußeren und inneren Fläche zugleich sichtbar machen, und sich überzeugen, daß eine Knotenlinie der einen Fläche zwischen zwei Knotenlinien der anderen falle.

395. An Platten von besonders symmetrischem Baue, wie z. B. an kreisrunden Scheiben, an Glocken und Ringen, können die Knotenlinien, der Größe der schwingenden Theile und der Tonhöhe unbeschadet, ihren Ort ändern. Man kann eine solche Bewegung der Knotenlinien wirklich hervorbringen, wenn man die Platte durch einen raschen Bogenstrich in Schwingungen versetzt, den Bogen schnell zurückzieht, wieder einen Strich anbringt ꝛc. und so mehrmal hinter einander verfährt. Je schneller man streicht und den Bogen wieder zurückzieht, desto schneller rücken die Knotenlinien fort. Wiederholt man dasselbe Verfahren, sobald diese Linie in Ruhe gekommen ist; so kann man sie neuerdings zum Weiterrücken bringen, und sie in einem ganzen Kreise herumführen. Erfolgen die Schwingungen langsam, so kann man dieses Weiterschreiten durch Lycopodium sichtbar machen; bei schnellen Schwingungen hingegen sieht man es nur, wenn man Sonnenlicht auf die Scheibe fallen läßt, und das Bild der Sonne beim Schwingen derselben betrachtet. Auf einer kreisförmigen, runden Scheibe erscheint dieses oval, beim Schwingen aber (falls eine sternförmige Klangfigur entsteht) sternförmig, und wenn die Schwingungsknoten weiter rücken, so nimmt auch dieser Stern eine kreisförmige Bewegung an. (Savart in Zeitschr. 4. 109.)

396. Die bisher betrachteten Schwingungen tönender Körper sind nicht bloß wegen ihrer akustischen Beziehung interessant, sondern auch

darum, weil sie uns ein sehr leicht anwendbares und genaues Mittel darbieten, die Größe und Vertheilung der Elasticität in einem Körper zu erkennen. Schneidet man von einem Körper nach verschiedenen Richtungen parallelepipedische Stäbe von gleichen Dimensionen, und versetzt sie auf einerlei Weise in Schwingungen; so kann man aus der Tonhöhe bei einerlei Abtheilungsart der Stäbe auf ihre Schwingungsanzahl und daraus auf ihre Elasticität schließen. Schneidet man von einem Körper gleichförmig dicke Kreisscheiben und versetzt sie in Schwingungen, bei welchen eine aus diametralen Linien bestehende Klangfigur entsteht; so müssen diese Linien jede Richtung annehmen können, wenn die Scheibe allenthalben gleich elastisch ist. Nehmen jene Linien nicht jede Lage an, so besitzet die Scheibe nicht allenthalben einerlei Elasticität, aber man wird die Stellen der kleinsten und größten Elasticität und das Gesetz ihrer Anordnung leicht ausfindig machen können. Durch dieses Mittel erkannte Savart, daß Holz, krystallisirte Körper, von denen er besonders Doppelspath und Bergkrystall näher untersucht hat, nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Elasticität besitzen.

Eine Scheibe, die senkrecht auf die Axe eines knotenfreien, mit vollkommenen Jahrringen versehenen, cylindrischen Holzstammes geschnitten ist, hat offenbar parallel mit der Axe (und mit den Fasern des Holzes) eine andere Elasticität, als in einer darauf senkrechten Ebene, und selbst in dieser Ebene kann die Elasticität nach verschiedenen Richtungen verschieden seyn. Savart fand sie mittelst Stäben aus einem Buchenstamme in einer auf die Fasern senkrechten Ebene nach einer Richtung = 1, nach einer darauf senkrechten = 2,25, in der Richtung der Fasern hingegen = 16. Macht man auf einer kreisförmigen, gleichförmig dicken Metallscheibe, auf welcher eine diametrale Knotenlinie jede Richtung annehmen kann, mit einer Säge parallele Einschnitte, und schwächt dadurch nach der Richtung derselben ihre Elasticität; so kann eine aus zwei auf einander senkrechten Durchmessern bestehende Klangfigur auf ihr nicht mehr jede beliebige Lage annehmen, sondern es ist immer eine Knotenlinie mit den Einschnitten parallel, eine andere darauf senkrecht, und will man mit Gewalt diese Knotenlinie an einer anderen Stelle erzwingen, so gehen die Durchmesser in hyperbolische Curven über. Demnach zeigen diese Durchmesser an ungleichförmig elastischen Platten immer die Stellen an, wo die Elasticität am größten oder am kleinsten ist. Eine Holzscheibe senkrecht auf die Fasern geschnitten, hat meistens an jeder Stelle eine Klangfigur mit diametraler Knotenlinie, ist also rings um das Centrum der Jahrringe gleich elastisch; eine schief gegen die Fasern oder mit ihnen parallel geschnittene thut dieses nicht, ist also auch nicht gleichförmig elastisch. Platten aus Bergkrystall, senkrecht auf die Hauptaxe des Krystalls geschnitten, erscheinen rings um die Axe gleich elastisch, aber die der Axe parallelen Flächen haben ungleiche Elasticitäten, wie auch eine schief gegen die Axe geschnittene. Doppelspath stimmt fast ganz mit dem Bergkrystall überein, und nur darin besteht zwischen beiden ein wesentlicher Unterschied, daß die kleine Diagonale der Rhomboederfläche beim Bergkrystalle die Axe der größeren, beim Kalkspath aber die der kleineren Elasticität ist. (Savart in Pogg. Ann. 16. 206.)

397. Ein elastischer Körper kann nicht bloß in der atm. Luft, sondern auch in jedem anderen Gase, ja sogar in tropfbaren Flüssigkeiten,

wie z. B. in Weingeist, in Oehl, in Quecksilber ꝛc. oscilliren. Man erregt Schwingungen in letzteren mittelst eines Glasstabes, welchen man an den in Oscillationen zu versetzenden Körper so ankittet, daß ein Theil davon aus der Flüssigkeit herausragt, in die man jenen Körper getaucht hat, und diesen Stab streicht. Bei Versuchen dieser Art hat man erfahren, daß das Mittel durch seine Trägheit und seinen Widerstand auf die Schnelligkeit der Schwingungen, mithin auch auf die Tonhöhe Einfluß hat, welcher um so größer ausfällt, je größer die in Bewegung gesetzte Masse des Mittels ist. Daher erfolgen longitudinale Schwingungen, welche das Mittel nur wenig in Anspruch nehmen, fast in allen Flüssigkeiten auf gleiche Weise, und die Tonhöhe erleidet in denselben keine merkliche Veränderung, während transversale Schwingungen von dem Mittel, worin sie Statt finden, in hohem Grade abhängen, und bei übrigens gleichen Umständen von desto tieferen Tönen begleitet sind, je dichter das Mittel ist. Uebrigens bilden sich in jedem Mittel, selbst wenn es tropfbar flüssig ist, am tönenden Körper bei gehöriger Behandlung Klangfiguren, und man kann sie eben so wie bei Schwingungen, die in der Luft vor sich gehen, durch Sand, den man durch die Flüssigkeit auf den tönenden Körper gelangen läßt, sichtbar machen. Doch sind nicht alle Figuren, die sich auf solche Weise zeigen, wahre Klangfiguren, d. h. solche, die aus Linien bestehen, welche Knotenlinien bezeichnen, sondern manche derselben werden durch die Bewegung des Mittels bedingt, worin die Bewegung erfolgt. (Vergl. 393).

398. Stehende Longitudinalschwingungen der **Luft**, welche jenen der Stäbe ganz analog sind, finden bei dem Tönen der **Blasinstrumente** Statt, denn die Luft dient hiebei als tönender Körper. Dieß folgt schon aus dem Umstande, daß genannte Instrumente so lange denselben Ton geben, als die darin enthaltene Luftsäule dieselben Dimensionen und dieselbe Temperatur hat, sie mögen aus was immer für einem Materiale bestehen. Daß die Bewegung der Luft auf die Wände wirken und von diesen wieder eine Rückwirkung auf die Luft erfolgen muß, und daß diese Rückwirkung von der Natur und Dicke der Wände abhängen kann, ist für sich klar; doch wird dadurch nur die Qualität und Stärke des Tones modificirt, und dieser Umstand kann durchaus nicht als Beweis angesehen werden, daß die Wände den tönenden Körper abgeben. (**Pellisov** in Schweigg. J. 67. 169, 227; 69. 289.) Schwingungen der Luft in einer Röhre werden erregt, indem man 1) die eingeschlossene Luftsäule an einem Ende durch Hineinblasen verdichtet, wie dieses bei Waldhörnern, Trompeten ꝛc. geschieht. 2) Einen schmalen Luftstrom vorbeistreichen läßt. Dieses thut man in jenen Orgelpfeifen, die man Flötenwerke nennt, auch beim Hineinblasen in einen Schlüssel, in eine Flöte ꝛc. 3) Durch einen Luftstrom, den man durch eine Spalte bläst, ein elastisches Plättchen in Schwingungen versetzt, das nun die Oeffnung abwechselnd herstellt und schließt, und so regelmäßig auf einander folgende Stöße auf die Luft in der Pfeife ausübet. Dieses ist bei den Rohr-

werkpfeifen der Orgeln und bei den Blasinstrumenten, welche Mundstücke haben, der Fall. Durch eine solche Reihe regelmäßig auf einander folgender Stöße wird auch der Ton in der sogenannten chemischen Harmonica erregt, und jener, den stark erhitzte, Feuchtigkeit enthaltende Glasröhren beim Abkühlen geben (Pogg. Ann. 42, 610). 4) Indem man einen schon schwingenden Körper auf die Luft wirken läßt. So wird eine Orgelpfeife zum Ansprechen gebracht, wenn man eine schwingende Stimmgabel, die nahe den Ton der Pfeife gibt, vor ihre Mündung hält. In allen diesen Fällen wird eine große Anzahl Luftwellen hinter einander hervorgerufen; haben dieselben eine Länge, welche mit jener der Röhre, worin die zum Tönen zu bringende Luft enthalten ist, in einem schicklichen Verhältnisse steht, so kommt die Interferenz der directen mit den reflectirten Wellen, worauf die Bildung der stehenden Oscillation beruht, wirklich zu Stande. Der Erfolg ist jedoch verschieden, je nachdem die Röhre beiderseits offen, oder an einem Ende mehr oder weniger geschlossen (gedeckt) ist, und richtet sich überdieß nach der Gestalt und den Dimensionen der Röhre, nach der Beschaffenheit ihrer Wände, nach der Temperatur und Natur der Luft, nach der Größe und Lage des Mundloches, und nach der Art des Anblasens.

399. Wenn man eine beiderseits offene, und eine gleich lange an einem Ende geschlossene, prismatische oder cylindrische Pfeife, deren Durchmesser bedeutend kleiner ist als ihre Länge, durch einen Luftstrom zum Tönen bringt, so findet man, daß nach Beschaffenheit des stärkeren oder schwächeren Anblasens jede dieser Pfeifen mehrere Töne geben kann, und zwar, daß diese Töne nach ihrer Höhe geordnet, der natürlichen Zahlenreihe 1, 2, 3, 4, 5 ꝛc. entsprechen, wovon die ungeraden Glieder der geschlossenen und die geraden der offenen Pfeife zugehören. Die Töne einer offenen prismatischen oder cylindrischen Pfeife verhalten sich daher unter einander selbst wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4 ꝛc. Haben zwei Pfeifen verschiedene Länge, und ist diese bei jeder viele Male größer als die Dimensionen ihres Querschnittes, so verhalten sich Töne desselben Ranges verkehrt wie die Pfeifenlängen. Versuche, welche dieses bestätigen, macht man leicht mit einer Flöten-Orgelpfeife, die man sowohl offen, wie auch an dem Ende mit einer ebenen Wand geschlossen gebraucht. Die Töne einer einfachen Trompete gehören hieher, und es kann auch die Röhre gekrümmt seyn, wie es bei dem Posthorn der Fall ist. Diese Töne erklärt man ganz gut aus der Bildung stehender Longitudinalschwingungen durch Interferenz der an dem Ende der Röhre reflectirten Wellen mit den directen; sie entstehen sonach auf ähnliche Weise wie die Longitudinaltöne elastischer Stäbe. Da aber in beiden Fällen nicht genau dieselbe Anordnung der Schwingungsknoten Statt findet, so gibt eine Erklärungsweise, die zwischen dem, was an elastischen Stäben und in einer Luftsäule vorgeht, gar keinen Unterschied macht, nicht genaue, sondern nur angenäherte Resultate, insbesondere bezüglich der offenen Röhren. Eine Theorie dieser Phänomene, die auf

Genauigkeit Anspruch machen will, darf nicht außer Acht lassen, daß die größere oder geringere Beweglichkeit der Körpertheile, woran die Reflexion einer Luftwelle vor sich geht, auf diese Welle einen bedeutenden Einfluß ausübt, und letztere an dem offenen Ende der Röhre, wenn die Länge der Welle unveränderlich gegeben ist, z. B. wenn sie statt des Anblasens durch die Schwingungen einer elastischen Platte erzeugt wird, eine Verzögerung erleidet, wodurch eine veränderte Stellung der Schwingungsknoten gegen das freie Ende entsteht, oder, falls die Erzeugung der Wellen durch einen Luftstrom erfolgt, durch Rückwirkung auf diesen die Wellenlänge selbst abgeändert wird, also eine ganz andere Tonreihe sich bildet. In der That erniedrigt die geringste Verengung des offenen Endes einer tönenden Pfeife den Ton derselben merklich, während die Wegnahme des Randes an dem Ende eines elastischen Stabes auf die Höhe seiner Longitudinaltöne keinen merklichen Einfluß hat.

Die Einrichtung einer Flöten-Orgelpfeife ist aus Fig. 184 a und b zu ersehen; a stellt eine solche perspectivisch, b im Längendurchschnitte vor. Sie besteht aus zwei Theilen, nämlich aus dem conischen unteren Theile ABC (dem Stiefel oder Windrohre) der unten offen, oben mittelst einer Querplatte BC bis auf eine enge Spalte in der Nähe des etwas hineingebogenen Randes (der Lefze) geschlossen ist, und aus der eigentlichen Pfeife BCDE, deren unterer, in der Nähe von B befindlicher Rand auch ein wenig eingebogen ist, und ebenfalls eine Lefze bildet; zwischen den beiden Lefzen ist ein Einschnitt. Die Luft wird durch A in den Stiefel geblasen, bricht sich in B, dringt durch die viereckige Oeffnung heraus, und erregt so in der Pfeife Schwingungen. Mit Leichtigkeit entsteht hiedurch nur eine gewisse Folge von Tönen, nämlich die durch die oben genannte Reihe bestimmten, und ein Gleiches gilt auch von den Blasinstrumenten, welche mit den Flöten-Orgelpfeifen in Hinsicht der Tonbildung übereinstimmen. Um daher eine Mannigfaltigkeit von Tönen zu erhalten, wie selbe die chromatische Tonleiter fordert, ändert man theils die Länge der Pfeife entweder durch verschiedene Aufsätze (Waldhorn, Trompete), oder mit Hülfe eines verschiebbaren Theiles (Posaune), theils modificirt man durch Oeffnen und Verschließen von Seitenlöchern die Länge der vibrirenden Luftsäule (Flöte, Klappentrompete), theils verengt man die Mündung der Röhre mehr oder weniger. Aus Letzterem erklärt sich der Kunstgriff der Waldhornisten, mit der Hand am Trichter des Instrumentes den Ton etwas zu ändern, und das Stimmen einer Orgelpfeife durch Neigung einer bleiernen, auf ein Ende aufgesetzten Platte. Kegelförmige oder pyramidale, offene Pfeifen geben, wenn man sie an der engeren Seite anbläst, wohl auch einen höheren Ton, als einerseits geschlossene von denselben Dimensionen; jedoch hängt es von dem Neigungswinkel der Seitenflächen ab, um wie viel der Ton in ersteren höher ist als in letzteren. Je größer dieser Winkel ist, desto mehr Intervalle liegen zwischen dem Grundtone einer offenen und dem einer geschlossenen Pfeife, In der Regel betragen sie mehr als eine Octave, können aber auch drei und mehr Octaven betragen.

400. Versuche über die Anordnung der Schwingungsknoten der in einer Röhre vibrirenden Luft macht man nach Hopkins am einfachsten, wenn man eine 1½ Zoll weite Glasröhre, die mit einem Aus-

zugrohre von Pappe oder Messing versehen ist, vertical befestiget, nahe unter ihr eine Glasplatte, durch deren Schwingungen die Luft in der Röhre in schwingende Bewegung versetzt wird, anbringt, jedoch so, daß keine Knotenlinie unter der Mündung der Röhre vorbeigeht, dann einen mit einer zarten Membrane überzogenen Metallrahmen mittelst eines dünnen Drahtes oder Fadens in die Röhre nach Bedürfniß einsenkt (Fig. 185). Die Membrane wird mit feinem trockenen Sande bestreut, dessen Bewegung oder Ruhe auf jene der Luft in der Röhre schließen läßt. Um die Membrane zu solchen Anzeigen nach Belieben empfindlich zu machen, muß der Rahmen gestatten, sie mehr oder weniger zu spannen, oder die Länge ihres schwingenden Theiles zu verändern, und dergestalt die Membrane zu stimmen. Je näher ihre eigenen Schwingungen mit jenen der Luft, deren Bewegung sie anzeigen soll, harmoniren, desto genauer gibt sie den Zustand der Bewegung an verschiedenen Orten in der Röhre an. Hiernach ist es klar, wie man die Orte der stärksten Bewegung und die Knotenflächen erkennt. Folgendes sind die Ergebnisse solcher Versuche: 1) Die Knoten sind nicht Orte völliger Ruhe der Luft, sondern Orte kleinster Schwingung, und diese ist an den Knoten geschlossener Röhren beträchtlicher. 2) Die Entfernungen je zweier benachbarten Knoten sind einander gleich und entsprechen genau der Hälfte des Weges den der Schall in der Luft während einer Schwingung der erregenden Platte zurücklegt. Nennt man diesen Weg l (Wellenlänge), so ist jene Entfernung $= \frac{1}{2}$ l. 3) Der Abstand des letzten Knotens von dem Ende einer offenen Röhre ist namhaft kleiner, als $\frac{1}{4}$ l; der Unterschied zwischen beiden oder die Verschiebung der Knoten nimmt bei einer und derselben Röhre zu, wenn l vergrößert wird; bei verschiedenen Röhren von gleicher Weite zeigt sie sich bei einerlei l constant; in engeren Röhren fällt sie jedoch geringer aus als in weiteren. Hopkins fand für eine Röhre von 1,35 engl. Zoll Durchmesser bei den Werthen $\frac{1}{2}$ l = 2,044; 3,994; 4,82 Zoll, die Verschiebung der Knoten = 0,365; 0,47; 0,59: für eine Röhre von 0,8 Z. Durchmesser hingegen erhielt er in den zwei ersten Fällen nur die Verschiebungen 0,08 und 0,1. 4) In einer geschlossenen Röhre ist der Abstand des letzten Knotens von dem Ende um ein Geringes größer als $\frac{1}{4}$ l. 5) Die Intensität der Schwingung ist am größten bei einer offenen Röhre, wenn deren Länge etwas kleiner ist, als ein gerades Vielfaches von $\frac{1}{4}$ l; ändert sich die Länge der Röhre, so nimmt die Intensität der Schwingung ab, und wird am kleinsten, wenn sich die Länge der Röhre einem ungeraden Vielfachen von $\frac{1}{4}$ l nähert. Für eine geschlossene Röhre gilt das Umgekehrte. Es können daher in einer Röhre tönende Schwingungen von jeder Höhe zu Stande kommen, wenn sie ihr durch einen selbstständig schwingenden Körper aufgedrungen werden. Der Grund hievon liegt augenscheinlich in der Theilnahme der äußeren Luft an der Gestaltung der an ihr reflectirten Wellen. Hiernach erhellet die Unhaltbarkeit der älteren von Dan. Bernoulli und Euler gegebenen Theorie der stehenden Schwingungen der Luft in Röhren, wobei der erwähnte Einfluß der reflec-

tirenden Substanz außer Acht gelassen wird, und selbst die von Poisson an dieser Theorie angebrachten Modificationen reichen nicht aus, sondern man ist zu anderen Voraussetzungen genöthigt, wie selbe neuestens von Hopkins, wie es scheint, mit Glück versucht worden sind. (Poisson in *Mém. de l'Acad. II.* Hopkins in Pogg. Ann. 44. 256; im Auszuge in Dove's Repert. 3. 55.)

401. Gedeckte Flöten-Orgelpfeifen, deren Höhe von den Dimensionen ihres Querschnittes nicht viel abweicht, geben, wenn sie ähnliche Gestalten haben, Töne, deren Werthe mit den homologen Dimensionen der Pfeifen in verkehrtem Verhältnisse stehen. Bei parallelepipedischen Pfeifen dieser Art bemerkt man, daß sie bei jeder Breite nahe denselben Ton geben, wenn die Flächenräume der auf diese Dimension senkrechten Durchschnitte, oder was dasselbe heißt, die Producte der Höhe mit der Dicke gleich sind. Vermindert man die Breite einer solchen Pfeife und mit ihr die Spalte, ohne an den übrigen Abmessungen etwas zu ändern, so findet keine Aenderung des Tones Statt. Kurze offene Pfeifen und solche, wo die Luftmasse an der Mündung nur zum Theil erschüttert ist, geben nach Verschiedenheit des Anblasens und nach der Größe und Lage des Mundloches sehr verschiedene Töne. Man kann bloß durch Modification des Luftstromes alle Töne innerhalb $1^1/_2$ — 2 Octaven hervorbringen. Dieses zeigt sich besonders an jenem kleinen Instrumente, womit die Jäger die Stimmen verschiedener Thiere nachahmen, welches aus einer 8 — 9 L. weiten, 4 L. hohen, hölzernen oder beinernen Röhre besteht, die an beiden Enden mit ebenen Platten geschlossen, in der Mitte mit einem kleinen Loche versehen ist. Dieses Instrument wird zwischen die Lippen genommen und gibt, je nachdem man stärker oder schwächer bläst, eine große Mannigfaltigkeit von Tönen. Man kann seine Größe und Gestalt auf vielfache Weise abändern, ohne eine andere Modification in der Wirkung des Instrumentes hervorzubringen, als die, daß sich bei einem größeren Volum desselben tiefe Töne leichter hervorbringen lassen, als höhere. Im Allgemeinen ist der tiefste Ton desto tiefer, je weiter die Oeffnung ist. Auf den Ton kurzer und weiter Pfeifen hat auch die Beschaffenheit der Wände einen sehr großen Einfluß. Sind diese einer verschiedenen Spannung fähig, so wird der Ton desto tiefer, je geringer diese Spannung ist. Demnach müssen kurze und zugleich weite, kegelförmige oder pyramidale Pfeifen mit veränderlichem Neigungswinkel und mit elastischen Wänden den größten Tonumfang haben.

402. Eine Zungenpfeife ist ein aus zwei schwingenden Körpern, der Luftsäule und der elastischen Platte, bestehendes Instrument; seine Tonhöhe muß demnach auch durch die Schwingungen dieser beiden Bestandtheile bestimmt werden, welche durch ihre Verbindung von einander abhängig geworden sind und sich gegenseitig dahin abändern, daß sie gleichzeitig schwingen. Die Tonhöhe einer solchen Pfeife hängt demnach von der Elasticität und den Dimensionen des Plättchens und von der Länge der schwingenden Luftsäule ab. Ein voller und starker Ton einer solchen Pfeife wird bloß von den auf das Plätt-

chen wirkenden Luftstößen hervorgebracht, und seine Höhe wird fast ganz allein durch die Schwingungen des Plättchens bestimmt; denn diese Höhe ändert sich nur sehr wenig, wenn man die schwingende Luftsäule ganz wegnimmt, wie dieses bei der sogenannten Physharmonica der Fall ist. Setzt man an das Mundstück eine offene Röhre an, deren Luftsäule mit dem Plättchen im Einklange tönt, und deren Länge = a ist, so wird dadurch der Ton um eine Octave tiefer. Nimmt man die Luftsäule anfangs kürzer als $^1/_4$a und läßt sie allmälig bis a wachsen, so ändert sich die Tonhöhe in der ersten Hälfte der Verlängerung nur sehr wenig, in der zweiten aber bedeutend, im Ganzen um eine Octave. Hiemit ist aber auch gewöhnlich die Tonreihe, welche man durch allmäliges Verlängern der Luftsäule hervorbringen kann, geschlossen. Geht diese Verlängerung über die angegebene Grenze hinaus, so springt der Ton plötzlich wieder auf den ersten zurück, und dieser wird nur durch abermaliges Verlängern der Luftsäule tiefer. Wird die Luftsäule von a auf 2a, 3a ꝛc. verlängert, so sinkt der Ton um eine Quart, um eine kleine Terz u. s. f. Es machen demnach die Zunge und die Luftsäule immer nur ein schwingendes System aus. (Weber in Pogg. Ann. 14. 397; 16. 193; 16. 415.)

Eine Zungenpfeife, auch Rohrwerkpfeife genannt (Fig. 186), besteht aus einem Fuße ABC, durch welchen die Luft eingeblasen wird, und über welchem die eigentliche Pfeife ruht, die durch einen Stöpsel vom Fuße getrennt ist. Die Communication zwischen beiden ist aber nicht bloß, wie bei einer Flötenwerkspfeife, durch eine einfache feine Spalte hergestellt, sondern durch eine hölzerne Rinne a b, welche durch den Stöpsel geht, und im Fuße mit einem elastischen Metallplättchen (Zunge) geschlossen ist, das die Rinne mehr oder weniger schließt, je nachdem man die Krücke c weiter hinabdrückt oder hinaufzieht. Die sogenannten Mundstücke mancher Blasinstrumente sind wie eine solche Pfeife eingerichtet. An einigen wird das Plättchen sebst in den Mund genommen, wie bei den Clarinetten, und diese verdienen im eigentlichen Sinne Mundstücke genannt zu werden.

403. Der Ton einer Pfeife ist bei übrigens gleichen Umständen desto höher, je größer die Ausdehnsamkeit der Luft im Vergleiche gegen ihre Dichte ist. Deßhalb gibt eine Pfeife, die mit Wasserstoffgas anspricht, einen höheren Ton als eine mit atmosphärischer Luft, und eben deßhalb ist der Ton einer Pfeife in warmer Luft höher als in kalter; darum erhöht sich der Ton während des Anblasens mit dem Munde. Auf hohen Bergen gibt eine Pfeife keinen tieferen oder höheren Ton als bei gleicher Temperatur an der Meeresfläche.

Die Tonhöhe in Pfeifen von gleichen Dimensionen, die in verschiedenen Luftarten ansprechen, hat man zur Vergleichung der Geschwindigkeit des Schalles in diesen Luftarten benützt, indem man von diesen Tonhöhen auf die Anzahl der Schwingungen während einer Secunde schloß, und das Verhältniß dieser, vorausgesetzt, daß die Pfeifen Töne von derselben Ordnung geben, z. B. jede ihren tiefsten Ton, als das Verhältniß der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der schwingenden Bewegung in genannten Medien betrachtete (vergl. 386 Anm.). Aus dem Vorhergehenden erhellet, mit welchen Vorsichten dieses Verfahren zu

gebrauchen sey. Ueber die Anwendung der Verschiedenheit des Tones einer Pfeife bei verschiedenen Temperaturen zu pyrometrischen Bestimmungen (akustisches Pyrometer) s. Pogg. Ann. 39. 580.

404. Die Instrumente, in welchen die Luft der tönende Körper ist, haben das Eigene, daß sie nicht wie Saiteninstrumente nachklingen, sondern zu tönen aufhören, sobald die den Schall erregende Ursache aufhört zu wirken. Die Ursache liegt darin, daß die am offenen oder gedeckten Ende der Pfeife zurückgeworfene Welle stets schwächer ist als die auffallende, von der sie abhängt, daher sie nach wenigen Reflexionen nicht mehr die zur Wahrnehmung eines Schalles nöthige Intensität hat.

405. Da die Schwingungen der Luftsäule in einer Röhre im Grunde auf der Fortpflanzung der vibrirenden Bewegung eines Körpers längs der Luftsäule beruhen, so entsteht, wenn diese Luftsäule genöthiget wird, gleichzeitig zwei verschiedene Schwingungsweisen fortzupflanzen, ein Interferenzphänomen. Sind die fortzupflanzenden Wellen gleich lang und gleich stark, und fallen correspondirende Phasen derselben an einerlei Stelle, so verstärken sie sich; kommen gerade entgegengesetzte Phasen zusammen, so tritt Aufhebung der Bewegung ein, und alle Fortpflanzung wird vernichtet. Hiedurch erklärt es sich, wie zwei verschiedene für sich allein kräftige Schalläußerungen in einer und derselben Luftsäule sich wechselseitig tilgen können.

Hält man daher eine Röhre, welche durch eine vibrirende Platte leicht zum Ansprechen gebracht wird, über eine Knotenlinie derselben, so daß diese mitten quer unter der Mündung der Röhre weggeht, so sinkt die Intensität des Schalles gewaltig herab. Denn die an eine Knotenlinie grenzenden Theile der Platte sind stets in entgegengesetzten Bewegungszuständen, welche sie der Luftsäule mittheilen. Noch besser dient eine Röhre, die oben mit einer Membrane geschlossen ist, und unten in zwei gleiche divergirende Schenkel ausgeht (Fig. 187). Hält man die Röhre über eine vibrirende Platte, so daß beide Schenkel über Theilen der Platte stehen, die sich in gleichen Bewegungszuständen befinden, z. B. über a und b, so kommt der auf die Membran gestreute Sand, vorausgesetzt, daß die Röhre die schickliche Länge hat, in heftige Bewegung; ändert man aber die Stellung der Röhre, so daß ihre Schenkel über a und c stehen, an welchen Orten die Theile der Platte gleichzeitig entgegengesetzte Bewegungen machen, so bleibt der Sand in Ruhe. Dieser Versuch läßt sich noch auf mannigfaltige Art abändern. Eine lehrreiche Abänderung ist folgende: Man nimmt eine Röhre, welche zwei rechtwinklige Biegungen macht, so daß sie zwei parallele gleichlange Schenkel hat, die durch ein Querstück verbunden sind (Fig. 188). In der Mitte des letzteren bei m ist eine Platte von der Form p eingefügt, durch deren Verschiebung man nach Gefallen die Communication der beiden Theile der Röhre abschließen oder öffnen kann. Thut man das erste und hält die Mündungen beider Schenkel über die Stellen a und c der vibrirenden Platte, so hört man das Tönen der Luft in der Röhre sehr stark, vorausgesetzt, daß die Röhrenlänge gut zur Platte paßt. Gibt man aber der Scheidewand eine solche Stellung, daß beide Schenkel mit einander in Communication kommen, so hört das Tönen sogleich auf. Im ersten Falle wird die Einwirkung der entgegengesetzten Wellen auf einander gehindert, im andern Falle findet sie Statt.

406. In die Klasse derjenigen Instrumente, in denen die Luft als schallender Körper wirkt, gehören auch die Stimmorgane der Thiere und des Menschen. Das Stimmorgan des Menschen besteht aus dem Kehlkopfe, dem Schlunde und dem Munde. Die Lunge dient als Blasbalg, die Luftröhre als Windrohr. Der Kehlkopf ist eine aus Knorpeln und Häuten gebildete Erweiterung des oberen Theiles der Luftröhre, über deren oberer Mündung zwei, einem Kreisabschnitte ähnliche Häute, die Stimmbänder, so angebracht sind, daß sie die Luftröhre bis auf eine schmale Spalte, die Stimmritze, schließen können. Diese Bänder können gespannt und nachgelassen werden, so daß sich die Stimmritze verengen und erweitern kann. Geht die Luft aus den Lungen ohne Gewalt durch die weit offene Stimmritze, so erfolgt kein Laut; wird aber aus den Lungen die Luft mit Gewalt ausgestoßen, so entsteht wohl ein Schall, aber kein Ton; das Husten erfolgt auf diese Weise. Wird endlich die Stimmritze verengt und die Luft mit Gewalt durch sie getrieben, dergestalt, daß sie eine Zusammendrückung erleidet (nach Cagnard-Latour beim gewöhnlichen Sprechen von nahe 5 Zoll, beim leisen Sprechen von 1 Zoll Wasserdruckhöhe), so erscheint erst der gehörige Ton. Die Luft schwingt im Stimmorgane, wie in einer conischen Zungenpfeife; doch gibt eine solche nur dann einen der menschlichen Stimme ähnlichen Laut, wenn die Zunge beim Schwingen nicht auf den Rand der Rinne, welche sie abwechselnd öffnet und schließt, schlägt, sondern ohne anzustoßen ein- und auswärts oscilliren kann (Willis in Pogg. Ann. 24. 397). Ungeachtet des geringen Rauminhaltes ist doch das Stimmorgan vieler Töne fähig, weil sein unterer Theil elastische Wände hat, die eine verschiedene Spannung annehmen können, weil durch größeres oder geringeres Oeffnen des Mundes die Dimensionen der Luftsäule bedeutend abgeändert werden können; endlich weil sich der Stimmapparat mittelst der Lippen bald schließen, bald öffnen läßt, und daher bald wie eine offene, bald wie eine geschlossene Pfeife wirkt. Die Wölbung des Schlundes und des Mundes, die verschiedene Biegung der Zunge, und vorzüglich zwei am oberen Theile des Kehlkopfes frei in der schwingenden Luft hängende Häutchen bewirken die verschiedene Articulation der menschlichen Stimme. Unter den Thieren haben nur Vögel, Säugethiere und Amphibien eigentliche Stimmorgane. Die Vögel haben den Kehlkopf am unteren Theile der Luftröhre, einige derselben haben auch die hängenden Membranen, die man im menschlichen Stimmorgane findet; das Stimmorgan einiger Thiere besteht nur aus einer paukenähnlichen Vorrichtung. (Savart in Zeitschr. 1. 12.)

Schon um das Jahr 1770 haben sich Kempelen und Kratzenstein bemüht, Vocallaute künstlich hervorzubringen, und in der neuesten Zeit haben Willis in England und Faber in Wien diese Bemühungen wiederholt, und Letzterer namentlich eine Maschine construirt, welche nicht nur jeden Buchstaben des Alphabets, sondern beliebige Worte vollkommen vernehmlich und sogar mit einiger Accentuirung hervorbringt, so daß die Vollkommenheit der Leistung fast nur durch die Fertigkeit desjenigen bedingt zu seyn scheint, der die Maschine in Bewe-

gung setzt. Der Bau dieser Maschine ist jedoch bis jetzt noch nicht durch eine Beschreibung veröffentlicht worden. Willis verband eine mit einer frei schwebenden, aber genau schließenden Zunge versehene Röhre mit einem von der Zunge aus trichterförmig sich erweiternden Raume, und deckte die Mündung desselben mit einem darauf verschiebbaren Brete. Wurde die Röhre zum Ansprechen gebracht und die Trichteröffnung durch Verschieben des Bretes allmälig vergrößert, so entstanden deutlich die Vocallaute in der Ordnung A, E, I, O, U; ähnliche Wirkungen erhielt er, wenn er Röhre und Zunge in einem gegliederten Kolben anbrachte, der sich in einem weiteren, dem Kolben genau anpassenden Rohre verschieben ließ, und den Kolben allmälig auszog. (Willis in Pogg. Ann. 24. 397. Dove's Repert. 3. 80.)

407. Die tönenden Schwingungen tropfbarer Flüssigkeiten sind noch nicht so weit untersucht, daß sie einen selbstständigen Theil der Akustik abgeben könnten. Die dabei Statt findende Bewegung der Molekel scheint in einer Ausdehnung und Zusammenziehung zu bestehen, welche eine Störung der Continuität der Masse und eine Vergrößerung der Poren derselben hervorbringen. Man erregt sie durch Reibung einer einerseits geschlossenen, Wasser oder eine andere tropfbare Flüssigkeit enthaltenden Röhre. Eine Wassersäule von 1 M. Höhe gibt einen Ton, welchem 790 Schwinungen in 1 Sec. entsprechen, doch ändert sich diese Schwingungszahl unter besonderen Verhältnissen, wie z. B. mit dem Durchmesser und der Länge der Glasröhre. Eine heberförmig gebogene gleichschenklige Röhre kann selbst beiderseits offen seyn, und die darin enthaltene Wassersäule wird doch durch Reiben in tönende Schwingungen versetzt, was bei einer geraden, beiderseits offenen nicht zu Stande zu bringen ist. Ist die Wassersäule im Heber gerade so lang wie die in der einerseits geschlossenen Röhre, so ist ihr Ton um 1 Octave höher als jener der letzteren. Verschiedene Flüssigkeiten geben bei gleicher Länge der Säulen verschiedene Töne, es richtet sich aber die Tonhöhe nicht nach der Dichte der Flüssigkeiten. Eine 20 Z. hohe Wassersäule macht in der Sec. 1478, eine eben so hohe Alkoholsäule von 36° B. 1400, eine Säule von Salzsäure 1272, eine von Schwefelsäure (60° B.) 1280, von einer Chlorcalciumlösung (13° B.) 1488, und von Quecksilber 640 Schwingungen. Auch kann man zur Erregung schallender Schwingungen in Wasser die Syrene benützen, die man in Wasser versenkt und durch deren Oeffnungen man aus einem höher gestellten Behälter mittelst eines Zuleitungsrohres zur Büchse des Instrumentes unter bedeutendem Drucke Wasser strömen läßt.

408. Gleichwie der Luft in einer Röhre durch einen in ihrer Nähe vibrirenden Körper Schwingungen aufgedrungen werden, und indem dadurch eine Interferenz directer und reflectirter Wellen bestimmt wird, diese Luftmasse die Rolle eines selbstständig schwingenden Körpers übernimmt und in der umgebenden Luft für sich Schallwellen erregt; eben so kann sich die schwingende Bewegung eines schallenden Körpers jedem andern, mit dem er in Berührung steht, mittheilen, nicht bloß so, daß hiedurch der Schall fortgepflanzt wird, sondern auch so, daß er selbst mitklingt und den Schall verstärkt.

Die Gesetze dieser Mittheilung sind äußerst wichtig; denn sie spielen bei unseren Saiteninstrumenten und überhaupt in allen jenen Fällen, wo es uns um Verstärkung des ursprünglichen Schalles zu thun ist, eine große Rolle, und nur durch ihre Kenntniß kann man zu einem ganz sicheren Verfahren geleitet werden, um solche Instrumente in möglichster Güte zu verfertigen, und dabei weniger vom Zufalle abzuhängen, als es bis jetzt leider noch der Fall ist.

409. Von der Wirklichkeit der Mittheilung von Schwingungen in Körpern von der mannigfaltigsten materiellen Beschaffenheit und von verschiedenem Aggregationszustande überzeugt man sich durch mehrere Erfahrungen. Bringt man eine Stimmgabel durch einen Schlag in Bewegung und hält sie dann frei in der Hand, so hört man nur einen äußerst schwachen Ton; setzt man sie aber auf einen Kasten von dünnem, elastischen Holze, z. B. auf den oberen Boden einer Violine, so erscheint dieser Ton viel stärker und anhaltender. Es müssen also die Holzfasern des Kastens in Bewegung gesetzt worden seyn. Der Ton der sogenannten Mundharmonica (Maultrommel) ist außer dem Munde nicht vernehmbar, im Munde hingegen, wo die Luft zum Mittönen gebracht wird, erscheint er hinreichend stark und hörbar. Selbst eine Stimmgabel tönt viel stärker, wenn man sie vor den Mund oder vor das Mundloch einer Flöte hält. Der Ton einer Orgelpfeife theilt sich einer gespannten Membrane durch die Luft mit, und setzt darauf gestreuten Sand in Bewegung. Diese Mittheilung findet auch unter einem ganzen Systeme von Körpern Statt, und es kann auch ein **Mittönender** einen andern mit ihm verbundenen zum Mittönen bringen. Schlägt man an einem Clavier, in dessen Nähe eine Violine hängt, mehrere Töne an, so vernimmt man deutlich, daß die Violine mitklingt, und daß sich ihre Saiten, wenn sie nicht in ihrer ganzen Länge diesen Ton geben können, in solche Theile abtheilen, die dazu geschickt sind. Man kitte auf eine kurze Glasstange zwei kreisförmige Scheiben, so daß ihre Flächen auf der Axe der Stange senkrecht stehen, halte den Stab vertical, und bestreue beide Scheiben mit feinem trockenen Sande. Entlockt man nun einer dieser Scheiben einen Ton, so ordnet sich der Sand nach der ihren Schwingungen zugehörigen Klangfigur, allein nicht bloß auf der unmittelbar zum Schwingen gebrachten Scheibe, sondern auch auf der mit ihr mittelbar verbundenen, und in beiden entsteht dieselbe Klangfigur. In allen Instrumenten, welche Resonanzböden haben, wird die Luft unter dem Resonanzboden durch den schallenden Körper mittelst des Bodens in Bewegung gesetzt; besonders wenn die Saiten in einer gegen den Resonanzboden senkrechten Ebene schwingen, wie beim Fortepiano, und man kann die mitgetheilten Schwingungen des Resonanzbodens mittelst metallener, gläserner oder hölzerner Stäbe, die ihn berühren, weit fort leiten, und so die Töne der Saiten in Oertern hörbar machen, wohin sie durch die Luft oder durch Mauern nicht dringen können.

Diesem Mittönen der Körper ist es zuzuschreiben, daß die Stimme eines Menschen in einem Zimmer ausgiebiger ist, als im Freien, daß eine Musik sich in einem Orte besser ausnimmt als in einem andern. Daß

an manchem Platze einige Töne mehr verstärkt werden als andere, und daß selbst an neuen musikalischen Instrumenten manche Töne vorzüglich voll und rund klingen, kommt daher, daß jeder mitklingende Körper nur jene Töne begleiten kann, die er entweder selbst zu geben im Stande ist, oder deren Schwingungen ein aliquoter Theil von jenen sind, welche am mittönenden Körper Statt finden können. (Weber in Schweigg. J. 53. 327. Wheatstone in Pogg. Ann. 26. 251)

410. Um den inneren Verlauf der Sache beim Entstehen mittönender Bewegungen einzusehen, denke man sich einen begrenzten Körper, z. B. ein dünnes Bret, mit einem tönenden Körper in Berührung. Jeder Stoß, welchen dieser Körper auf jenes Bret ausübt, erregt in demselben eine fortschreitende Welle. Diese erweitert sich bis zum Ende des Bretes, wird daselbst in zwei Theile zerlegt, wovon einer in das angrenzende Mittel übergeht und den Schall fortpflanzt; der andere wird reflectirt und erzeugt, indem er directen, durch fernere Stöße von Seite des schallenden Körpers erregten Wellen begegnet und sie durchkreuzt, jene einer stehenden gewissermaßen analoge Schwingung, in welcher das Mittönen besteht. Die tactmäßig erfolgenden Stöße, welche dieses Bret erfährt, zwingen es, auch auf eine Weise zu schwingen, die ihm im freien Zustande ganz fremd ist. Daher entstehen wohl auch auf dem mittönenden Körper Knotenlinien und Figuren, aber diese Figuren sind oft von den an selbsttönenden Körpern vorhandenen wesentlich verschieden, und werden Resonanzfiguren genannt. Diese Unterschiede bestehen darin, daß die Knotenlinien der Resonanzfiguren nicht so regelmäßig sind, wie die der Klangfiguren, daß ihre Zwischenräume nicht immer aliquote Theile der Größe der schwingenden Fläche sind, daß eine Knotenlinie auch mitten im schwingenden Theile enden kann, und endlich, daß die Ruhelinien nicht immer Grenzen schwingender Theile sind, sondern auch von Bewegungen einzelner Theile herrühren können.

Zwei in einerlei Ebene mit einander verbundene Kreisscheiben von einerlei Materie geben die Klangfigur 189, die man auch in jeder Scheibe für sich unmittelbar erzeugen kann; bei einer geringen Verrückung des Bogens entsteht aber die Fig. 190, deren Hälfte man auf einer einzigen Scheibe nicht hervorbringen kann. In der Regel wird die, einem Körper eigene Schwingungsart durch Verbindung mit einem andern desto mehr modificirt, je größer die angehängte Masse ist. Dieses zeigt besonders folgender Versuch: Verbindet man zwei Kreisscheiben von sehr verschiedener Größe mit einander so, daß beide in derselben Ebene liegen, und streicht dann die größere mit einem Bogen, so entsteht auf ihr eine Klangfigur, die ihr auch für sich selbst zukommt; streicht man aber die kleinere Scheibe und läßt ihre Bewegung der größeren mittheilen, so erhält man eine Figur wie 191, die weder in der größeren, noch in der kleineren Scheibe für sich erzeugt werden kann.

411. Bei den mitgetheilten Schwingungen bewegen sich alle Theile nach Richtungen, die unter sich und auch mit jenen parallel sind, welche den ursprünglich schwingenden Theilen zukommen. Wird eine Saite mit einem Ende an einen festen Wirbel, mit dem andern an eine glä-

serne oder metallene, längliche Platte befestigt, die selbst am andern Ende eingeklemmt ist, wie Fig. 192 zeigt, und hierauf mittelst eines Geigebogens nach einer auf der Ebene der Platte senkrechten Richtung in Querschwingungen versetzt; so schwingt auch die Platte nach derselben Richtung, wie man aus den Klangfiguren, die aufgestreuter Sand sichtbar macht, beurtheilen kann, der immer vertical in die Höhe hüpft. Bringt man Querschwingungen an einer vertical gespannten Saite hervor, und hält eine horizontale Glasplatte daran, so sieht man auf dieser den aufgestreuten Sand nicht in die Höhe hüpfen, sondern nur horizontal fortgleiten, um sich in Knotenlinien anzuordnen, die immer auf der Richtung des Bogenstriches senkrecht stehen. Befestigt man in dem Mittelpuncte einer runden Metallscheibe senkrecht auf ihre Ebene einen dünnen Holzstab, und bringt man diesen in Längenschwingungen, so geräth die Scheibe in transversale Oscillationen, und darauf gestreuter Sand ordnet sich zu concentrischen Kreisen. Recht auffallend zeigt sich die Wahrheit obiger Behauptung durch folgenden Versuch, den Savart zuerst anstellte. Man befestige in der Mitte eines, mit einer gespannten Saite in Verbindung stehenden Glasstreifens A (Fig. 193) senkrecht darauf einen Streifen, an diesen wieder einen mit dem ersten parallelen u. s. w. Wird nun A mittelst der Saite in transversale Schwingung versetzt, so schwingen auch alle damit parallelen Stücke transversal, alle darauf senkrechten aber longitudinal. Das Gegentheil findet Statt, wenn A longitudinal schwingt.

Die bisher besprochene Mittheilung der Bewegung geschieht mit einer bewunderungswürdigen Regelmäßigkeit. Sind die Streifen b, b″ von gleicher Natur und von gleichen Dimensionen, eben so auch b′ und b‴ unter einander, aber von ersteren verschieden; so geben b und b″ dieselben Klangfiguren und eben so auch b′ und b‴, aber die von b und b′ stimmen nicht mit einander überein, wiewohl sie von derselben Quelle, nämlich von A ausgegangen sind; ja selbst das Gesetz der ungleichen Anordnung der Knotenlinien auf den zwei Flächen eines Streifens, das für Längenschwingungen Statt hat, wird hier aufs genaueste beobachtet; denn wenn alle Streifen b, b′, b″, b‴ einander gleich sind und longitudinal schwingen, so sieht man auf den zwei einander zugewendeten Flächen zweier Streifen immer dieselbe Anordnung der Ruhelinien, während die Flächen, welche nach einerlei Gegend hinsehen, eine verschiedene Anordnung derselben zeigen.

412. Wheatstone hat in Betreff der Mittheilung tönender Schwingungen eine eigene Modification entdeckt, die er, wenn auch nicht ganz passend, Polarisation des Schalles nennt. Stellt man nämlich eine Stimmgabel auf das Ende eines langen, geraden Metalldrahtes, der auf einem Resonanzboden steht; so theilt sich der Laut der Stimmgabel nur dem Brete, nicht aber dem Drahte mit. Stellt man die Stimmgabel rechtwinkelig mit dem Schafte auf ein Ende des Drahtes, so werden ihre Schwingungen durch den Draht dem Brete mitgetheilt, wenn die Zinken der Gabel mit der Axe des Drahtes in einerlei Ebene liegen, keineswegs aber, wenn die Axe des Drahtes auf der Ebene der Zinken senkrecht steht. Dreht man die

Stimmgabel successiv aus einer Lage in die andere, so nimmt der Ton während einer ganzen Umdrehung zweimal ab und eben so oft zu. Biegt man den Draht, während die darauf stehende Gabel den stärksten Ton gibt, so nimmt die Tonstärke ab, ist am schwächsten, wenn der Stab unter 90° gebogen ist, wächst wieder beim ferneren Biegen und erreicht ihr Maximum, wenn die beiden Drahthälften wieder parallel sind. (*Ann. de Ch.* 23. 313. Schweigg. J. 47. 108.)

Auf der Mittheilung tönender Schwingungen beruht hauptsächlich die Verstärkung des Schalles, welche man Resonanz zu nennen pflegt, wiewohl auch die an hinreichend nahen Körpern reflectirten und für unser Gehör mit den directen zusammenfallenden Wellen daran nicht selten Antheil haben. Hiernach wird man leicht begreifen, wie ein Gebäude beschaffen seyn muß, damit es eine gleichförmige, möglichst starke, dauernde Resonanz habe, daß zur Erreichung dieses Zweckes die Wände möglichst glatt, nicht mit Tapeten behängt, nicht hohl seyn sollen, und daß man das Volum des Raumes wohl zu berücksichtigen habe. Bei musikalischen Instrumenten mit einem Resonanzboden kommt es auf die Gestalt und Größe des eingeschlossenen Luftraumes und auf die Lage seiner Oeffnungen vorzüglich an.

D. Nähere Betrachtung des Schalles als solchen.

413. Es ist eine durch alle im Vorhergehenden angeführte und noch andere unzählige Erfahrungen erwiesene Thatsache, daß jede hinreichend schnelle und starke Erschütterung des unser Gehörorgan umgebenden Mediums in uns die besondere Empfindung erregt, welche wir durch das Wort Schall ausdrücken. Jeder Körper, der eine solche Erschütterung des Mediums zu bewirken vermag, kann daher als schallender Körper auftreten. Es kann also ein Insect durch die mit der Flügelbewegung verbundenen raschen Zusammenziehungen und Erweiterungen der Brusthöhle, welche ein stoßweises Aus- und Einathmen der Luft bewirken (Burmeister, in Pogg. Ann. 38. 283), ein Stab oder eine Peitsche, die schnell genug durch die Luft fahren, eine Luftmasse, die angezündet wird und dabei ein Product von viel kleinerem Volum liefert, wie z. B. Knallgas, ein beim Erhitzen und Erkalten sein Volum in rasch auf einander folgenden Absätzen änderndes Metall u. dgl. einen Schall erregen. Vorzüglich sind aber dazu, wie bereits früher bemerkt worden, die in stehender Wellenbewegung befindlichen Körper geeignet.

Um ein erhitztes Metall beim Abkühlen zum Tönen zu bringen, dient am besten das sogenannte Trevelyan-Instrument. Es besteht aus einem etwa 1½—2 Zoll breiten, 4—5 Zoll langen Stücke Eisen, Messing oder Kupfer, das in einen runden dünnen Stiel ausläuft und an einer cylindrisch gestalteten convexen Fläche eine Längenfurche hat, damit es eine Unterlage nur an den Rändern dieser Furche berühre. Legt man das Metallstück im kalten Zustande auf die Kante eines dreiseitigen Prisma's von Blei (Fig. 194), so daß es nur mit den erwähnten Rändern aufliegt, und sich zugleich mit dem Stiele auf den Tisch stützt, so erfolgt, wenn man es auf einer Seite ein wenig drückt und dann losläßt, ein Hin- und Herwackeln des Metallstückes, und man hört einige hinter einander folgende Stöße, die, weil das Metall-

stück gleich wieder zur Ruhe kommt, nicht andauern. Erhitzt man aber das Metallstück und verfährt wie vorhin, so folgen die Stöße viel rascher hinter einander, und verschmelzen alsbald in einen Ton. Diese Stöße rühren davon her, daß das kalte Blei an den Puncten, wo es vom Metallstücke berührt, mithin erwärmt wird, eine Erhöhung bekommt, in Folge dessen das Metallstück seitwärts fällt, worauf die Erhöhung sich verliert und gleichzeitig auf der andern Seite eine Erhöhung entsteht, weßwegen das Metall wieder in die frühere Lage zurückfällt u. s. w. Neuestens hat man gefunden, daß eine Zinkstange, die auf zwei Stützen ruht und mit einer Spirituslampe erwärmt wird, zum Tönen kommt. Das Tönen einer heißen Silbermasse auf einem eisernen Ambos war schon länger bekannt. (Gilb. Ann. 22. 323; Pogg. Ann. 24. 466; 32. 553; 43. 405; 51. 1.)

414. Als Schallmittel kann jeder Körper dienen, der eine erlittene Erschütterung fortzupflanzen vermag. Das gewöhnliche Schallmittel ist die atm. Luft; es sind aber alle Körper, sie mögen fest oder tropfbar seyn, ja sogar die Dünste dazu geeignet, wie man aus unzähligen Erscheinungen abnehmen kann. Hält man z. B. das Ohr an das Ende eines Stabes, der am anderen Ende eine Uhr berührt, so hört man ihren Gang besser als durch die Luft; durch die Erde wird der Donner der Kanonen auf ungeheure Entfernungen fortgepflanzt; zwei Steine, die unter Wasser zusammengeschlagen werden, hört man in demselben und außerhalb desselben; Fische folgen dem Schalle einer Glocke, die sich außer dem Wasser befindet; hängt man ein Glöckchen in einer gläsernen, mit Dampf gefüllten Kugel mittelst eines feinen Fadens auf, so hört man seinen Klang recht vernehmlich durch die Dünste. Die Nothwendigkeit des Schallmittels, um die Schwingungen eines schallenden Körpers vernehmen zu können, setzt ein Versuch mit der Luftpumpe, unter deren Recipienten man das Schlagwerk einer Uhr gebracht hat, außer Zweifel. Je mehr man die Luft unter dem Recipienten verdünnt, desto schwächer wird der Schall, und ist, wenn man Sorge getragen hat, das Schlagwerk auf einen weichen Polster zu setzen, damit nicht der Teller und das Gestelle der Luftpumpe zur Schallleitung diene, zuletzt nicht mehr vernehmlich. Läßt man Luft zu, während das Schlagwerk im Gange ist, so hört man den Schall wieder.

415. Jeder Schall hat einen eigenthümlichen Charakter, der durch sein Quantitatives und durch sein Qualitatives bestimmt wird. Seine Qualität läßt sich nicht beschreiben, sie ist das, wodurch sich z. B. eine Menschenstimme von dem musikalischen Schalle eines Instrumentes, ja selbst der Schall eines Instrumentes von dem eines andern unterscheidet. Man kann es mit Chladni den Laut oder vielleicht noch passender den Klang des Schalles nennen. Das Quantitative bezieht sich auf die Stärke, Höhe und Tiefe des Schalles. Ein Schall, der uns als etwas Einfaches, in seinen Theilen Gleichartiges erscheint, heißt Klang; ein in Bezug auf Höhe und Tiefe betrachteter Klang, ein Ton. Man sagt: eine Saite klingt und gibt einen hohen oder tiefen Ton; ein Wasserfall macht ein Geräusch. Zwei zu gleicher Zeit erzeugte Töne klingen entweder angenehm

oder unangenehm zusammen; im ersten Falle bilden sie eine **Consonanz**, im zweiten eine **Dissonanz**. Drei oder mehrere consonirende Töne geben einen **Accord**. Eine geregelte Folge einzelner Töne heißt **Melodie**; eine geregelte Folge von Accorden **Harmonie**. Ein Klang wird nur durch regelmäßige Schwingungen des schallenden Körpers erzeugt, und darum werden geregelt, schnell und hinreichend stark schwingende Körper auch vorzugsweise als **klingende Körper** angesehen.

Das Wesen der quantitativen Eigenschaft des Schalles, welche die Höhe und Tiefe des Tones bestimmt, läßt sich, wie im Vorhergehenden hinreichend in das Licht gestellt worden, nicht bloß im Allgemeinen angeben, sondern auch messen; ein Gleiches gilt gewissermaßen auch von der Stärke, wie im Folgenden gezeigt werden soll. Ueber die Qualität vermag jedoch die Physik bis jetzt nur wenig Auskunft zu ertheilen, und dieß nur in sofern, als selbe sich auf eine Beziehung zwischen Quantitäten zurückführen läßt. Es ist nämlich sehr wahrscheinlich, daß die Qualität eines Tones von dem Gesetze abhängt, an welches die Geschwindigkeit jedes Theiles des schwingenden Körpers während einer Schwingung gebunden ist; denkt man sich diese Geschwindigkeit durch die Ordinate einer krummen Linie ausgedrückt, die dazu gehörige Zeit aber als deren Abscisse, so kann die Form dieser Curve als ein Bild des Charakters des Tones betrachtet werden. Wahrscheinlich liegt es in der Einfachheit oder Complication dieser krummen Linie, ob ein Schall ein bloßes Geräusch oder ein Klang ist; die verschiedenen Charaktere des Schalles, welche man mit den Worten: Brausen, sausen, knarren, zischen, klatschen, poltern, rasseln, rauschen, rollen etc. etc. bezeichnet, deuten wohl nur auf eine durch das Zusammentreffen mehrerer ungleichartigen Schalle entstandene Complication des Eindruckes auf unser Gehörorgan hin.

416. Wir besitzen nicht bloß das Vermögen, eine Reihe isochroner, oder doch wenigstens von einem mittleren Werthe des Intervalles nicht zu sehr abweichenden Stöße auf unser Gehörorgan als Ton wahrzunehmen, sobald nur diese Stöße sich so an einander anschließen, daß die Empfindung die Stöße überdauert und so gleichsam ein Stoß mit dem andern zu einem Ganzen zusammenfließt; sondern wir haben auch ein besonderes Gefühl für die Ordnung, in welcher die von zwei verschiedenen Tönen herrührenden Stöße abwechseln. Erfolgen nämlich mehrere Systeme von Stößen zugleich, so bringen sie eine desto vollkommenere Empfindung hervor, in je einfacheren Zeitverhältnissen sie wiederkehren, etwa so, wie die Ordnung der von zwei verschiedenen Individuen zugleich verübten Hammerschläge sich leichter auffassen läßt, und diese daher sich in ihrem Zusammenhange besser ausnehmen, wenn die Intervalle, die jeder einzeln beobachtet, mit einander commensurabel sind, als wenn im Ganzen keine, oder eine nur schwer faßliche Ordnung herrscht. Ein einfaches Verhältniß dieser Art wird als **Consonanz**, ein complicirtes als **Dissonanz** wahrgenommen, und die Consonanz ist um so vollkommener, auf je einfacheren Zahlen dieses Verhältniß beruht. Dieß ist die natürlichste Erklärung

der Thatsache, daß die Consonanz der Octave mit dem Grundtone als die vollkommenste erscheint, die Quinte dieser zunächst steht u. s. w.

Die Zahlen, welche in die harmonischen Verhältnisse eingehen, sind bloß die sechs ersten der natürlichen Reihe, nämlich 1, 2, 3, 4, 5, 6. Mit der Zahl 7 fängt die Dissonanz an. Dieß zeigt sich deutlich an dem siebenten Tone der einfachen Trompete, der selbst einem minder geübten Gehöre als ein falscher erscheint. Man kann die Wirkung der Consonanz mit dem günstigen Eindrucke vergleichen, den eine leicht faßliche Anordnung zweier Reihen gleichweit von einander entfernter Puncte, deren eine über der andern steht, auf unser Auge macht. Sonach wäre die sinnbildliche Darstellung der Octave und der Quinte folgende:

Octave . . . .
Grundton . . . .
Quinte . . . .
Grundton . . . .

wobei die Folge der Puncte die Folge der Stöße jedes Tones anzeigt.

Treffend sind daher des großen Leibnitz Worte: Musica est exercitium arithmeticae occultum nescientis se numerare animi . . . . Anima igitur etsi se numerare non sentiat, sentit tamen huius numerationis insensibilis effectum, seu voluptatem in consonantiis, molestiam in dissonantiis inde resultantem. (Epist. ad diversos 1. ep. 154.)

Wie sehr die Wahrnehmung eines Tones von der oben ausgesprochenen Bedingung des Zusammenfließens der Empfindungen successiver Stöße zu einem Ganzen abhängt, hat Savart durch Versuche nachgewiesen. So wird gewöhnlich angenommen, daß zur Erzeugung eines Tones wenigstens 16 Stöße in der Secunde erforderlich seyen, und man kann dieß auch als Regel zulassen; doch ist es möglich, auch weniger Stöße zu einem Tone zu verbinden, wenn sie das Gehörorgan nur kräftig genug afficiren. Dieß ist der Fall, wenn ein massiver Stab von 2 bis 3 Fuß Länge um eine durch seine Mitte geführte Axe in Rotation versetzt wird und dabei zwischen zwei Bretern, welche gleichsam eine Spalte bilden, ohne dieselben zu berühren, hindurchgeht. Ist die Spalte hinreichend eng, so entsteht bei jedem Durchgange in Folge der Erschütterung der Luft ein intensiver Schall, einem Knalle ähnlich, und man vernimmt da schon einen zusammenhängenden Ton von auffallender Intensität und Tiefe, wenn auch nur 7 — 8 Durchgänge binnen einer Secunde erfolgen, die eben so vielen Schwingungen entsprechen.

417. Daß wir mehrere, ja eine große Anzahl Töne und Laute aller Art auf einmal wahrnehmen und einen von dem andern unterscheiden können, ist eine einfache Folge des Interferenzgesetzes fortschreitender Wellen. Werden nämlich an mehreren Stellen eines Mediums zugleich Schallwellen erregt, so pflanzt sich jede unabhängig von der andern fort; treffen sie irgendwo zusammen, so durchkreuzen sie sich und setzen ihren Weg auch nach der Durchkreuzung unverändert fort, als hätten sie sich nie begegnet. Nur an der Durchkreuzungsstelle wirken sie wechselweise auf einander ein (interferiren sich), und verstärken oder schwächen sich, oder heben sich daselbst gar auf, je nachdem sich die Theile der sich schneidenden Wellenstücke nach derselben, oder

nach entgegengesetzten Richtungen bewegen; im Allgemeinen ist die Bewegung eines Theilchens des Mittels, durch welches sich mehrere Laute zugleich fortpflanzen, die Resultirende der diesen entsprechenden Bewegungen einzeln genommen, und kann nach der Regel der Zusammensetzung der Bewegungen gefunden werden. Man nennt dieses Gesetz auch das Gesetz der Coexistenz der kleinsten Bewegungen. Unser Gehörorgan nimmt alle Interferenzeffecte, die in der mit ihm in unmittelbarer Berührung stehenden Luft vor sich gehen, getreu auf; durch die Schwingung eines Lufttheilchens, das zu zwei oder mehreren der Phase nach übereinstimmenden Wellentheilen gehört, wird es stärker afficirt; wenn aber auf das Lufttheilchen einander entgegenwirkende Phasen übertragen werden, ist der Eindruck schwächer.

Sehr belehrende Versuche hierüber kann man nach Seebeck (Pogg. Ann. 53. 417) mittelst einer auf ihre einfachste Form gebrachten Syrene anstellen, die aus einer hölzernen mit Blei beschwerten, um eine Axe drehbaren Scheibe besteht, an welcher sich Scheiben von dünner glatter Pappe concentrisch befestigen lassen, in die längs der Peripherie eines oder mehrerer concentrischen Kreise Reihen von Löchern in mannigfaltiger Vertheilung, wie es die Abänderungen der Versuche fordern, eingeschlagen sind. Die Axe wird mittelst eines Wellrades und Schnurlaufes in Bewegung gesetzt, und die Bewegung mit Hilfe eines Windflügels requlirt. Die Töne werden hervorgerufen entweder indem man durch eine oder mehrere Röhren einen Luftstrom gegen die in Drehung befindliche Löcherreihe leitet, oder indem man eine aus Kartenblatt geschnittene Spitze so gegen die Scheibe hält, daß sie in die Löcher einschlägt. Läßt man nun von entgegengesetzten Seiten zwei Luftströme gegen die Scheibe gehen, und hat man die Zuleitungsröhren so gestellt, daß gleichzeitig stets zwei verschiedene Löcher getroffen werden, so hört man keinen Ton, während ihn jeder einzelne Luftstrom für sich allein kräftig hervorbringt. Der ursprüngliche Ton erscheint aber sogleich, und zwar verstärkt, wenn die Löcher von den zwei entgegengesetzten Luftströmen nicht gleichzeitig, sondern alternirend getroffen werden. Sind auf einer Scheibe concentrisch zwei Löcherreihen angebracht, deren eine doppelt so viel Löcher hat, als die andere, so hört man bei dem Anblasen von derselben Seite her zwei Töne, deren einer die Octave des andern ist; bei entgegengesetztem Anblasen, so daß mit den in geringerer Anzahl vorhandenen Löchern immer eines der andern Reihe zugleich getroffen wird, verschwindet der höhere Ton, und man hört den tieferen allein, welcher hier von jenen der für sich den höheren Ton gebenden Löcher herrührt, deren Wirkung der Interferenz entschlüpft. Leitet man gegen eine Reihe äquidistanter Löcher zwei Luftströme von derselben Seite, so daß, wenn einer eine Oeffnung trifft, der andere mitten auf das Intervall zwischen zwei Löchern fällt, so hört man die Octave des Tones, den ein Luftstrom für sich allein gibt. Sind die Löcher einer Reihe nicht gleichweit von einander entfernt, sondern wechseln Intervalle von zwei verschiedenen Größen mit einander ab, und man leitet einen Luftstrom gegen die Scheibe, so hört man einen solchen Ton, als ob nur halb so viel Löcher da wären, deren Abstand der Summe zweier benachbarten Intervalle gleich kommt, und wenn die Differenz der Intervalle nicht zu groß ist, auch dessen höhere Octave. Mit der so vorgerichteten Syrene läßt sich bei unregelmäßiger Folge der Löcher zeigen, wie bedeutend

die Abweichung vom Isochronismus der Stöße seyn kann, ohne daß wir aufhören, einen gleichartigen Ton wahrzunehmen. Seebeck ließ die Intervalle zwischen zwei auf einander folgenden Impulsen bis zum Verhältniß 9 : 11 oder gar 5 : 7 variiren, und hörte noch immer den dem Mittelwerthe entsprechenden Ton, während bei ganz regelmäßigen Schwingungen das Verhältniß 9 : 11 mehr als eine kleine Terz, und 5 : 7 fast eine halbe Octave beträgt. Mittelst der Syrene läßt sich auch klar zeigen, daß bei den Schwingungen der Saiten, Stäbe ꝛc. zu einem Stoße als Element eines Tones ein Hin- und Hergang nothwendig sey; denn sie entsprechen zusammen dem Intervalle zwischen zwei Stößen der Syrene, weßwegen wir stets beide zusammen für eine Schwingung gezählt haben. Aber auch wenn ein zwischen zwei Säulen rasch oscilirendes Pendel durch die Schläge, die es gegen die Säulen macht, einen Ton erzeugt, entspricht der Ton nur der halben Anzahl der Schläge, es sind also zwei Schläge für eine Schwingung zu zählen. Obgleich hier getrennte Stöße gemacht werden, wirken die der Stellung nach, d. h. in Bezug auf das Vorausgehen der Verdichtung oder Verdünnung entgegengesetzten Wellen auf das Ohr nur wie Bestandtheile einer doppelt so langen Welle.

418. Pflanzen sich daher zwei nicht ganz isochrone Schwingungen bis zu unserem Gehörorgane fort, so müssen sie sich, indem bald Verdichtungen, bald Verdünnungen zusammenkommen, abwechselnd verstärken und schwächen, und dadurch jenes periodische Anschwellen und Nachlassen der Töne bewirken, welches man das Schweben derselben nennt. Folgen die Momente, wo die Einwirkungen am meisten übereinstimmen, d. h. die Schwebungen und Stöße schnell genug auf einander, so begründen sie das Entstehen einer Reihe anderer Töne, die man Combinationstöne nennt. Von dieser Art ist z. B. jener Ton, der aus dem gleichzeitigen Ertönen des Grundtones und seiner Quint hervorgeht, und der tieferen Octave gleich kommt. Da sich nämlich die Schwingungszahlen des Grundtones und der Quint für dieselbe Zeit wie 2 : 3 verhalten, so erfolgt nach je zwei Schwingungen des ersteren ein stärkerer Stoß. (Hallström in Pogg. Ann. 24. 438). Weber ebend. 28. 10. Scheibler ebend. 32. 333. Ohm ebend. 47. 463. Dove's Repert. 3. 1 u. 404.)

Die Schwebungen hört man sehr deutlich, wenn die Töne zweier Orgelpfeifen einander nahe gleich kommen oder einer reinen Consonanz sehr nahe stehen, ohne diese zu erreichen. Je weniger die Töne von der genauen Stimmung abweichen, desto langsamer werden die Stöße, so daß man sie bequem zählen und das zwischen ihnen verfließende Zeitintervall messen kann. Ein Gleiches läßt sich an Stimmgabeln, Klaviersaiten ꝛc. wahrnehmen. Daher auch die Benennungen »gleichschwebende« und »ungleichschwebende« Temperatur (377). Wird nämlich, um die Reinheit der Octaven zu erhalten, von der vollkommenen Reinheit der Quinten eines musikalischen Instrumentes mit fixen Tönen abgegangen, aber der Fehler für alle Quinten gleich gemacht, so geben je zwei derselben gleiche Schwebungen; da man diese hören kann, so hat man darnach ein Mittel, eine solche Stimmung zu bewerkstelligen. In Betreff der Schwebungen besteht die Regel, daß die Anzahl derselben während einer gegebenen Zeit dem absoluten Höhenunterschiede der sie erzeugenden Töne gleich ist. Diese Regel läßt sich recht

gut an den Schwingungen zweier neben einander aufgehängten Pendel von nahe gleicher Länge anschaulich machen. Zur graphischen Darstellung der Combinationstöne verschiedener Ordnung trage man für jeden der zwei erzeugenden Töne die Verdichtungen eines bestimmten Luftheilchens als positive, die Verdünnungen als negative Ordinaten an einer Axe auf, deren Abscissen die Zeit anzeigen, und verzeichne durch Summirung der zu jeder Abscisse gehörenden Ordinaten eine dritte Curve. Der Zug der verschiedenen Gipfel der letzteren stellt den Gang der Eindrücke, welche das Gehörorgan nach einander erfährt, vor Augen, und man sieht daraus, daß sich die Sache ungefähr so verhält, wie wenn eine Saite zugleich in mehreren Systemen von Abtheilungen schwingt (381).

419. Wir beziehen die Wahrnehmung eines Schalles immer auf eine gewisse Richtung, nach welcher der Schall zu uns kommt. Es ist dieses keine andere, als die Richtung des Fortschreitens des Wellenstückes, von dem die Einwirkung auf das Gehörorgan herrührt, mithin in der Luft oder in einem andern nach allen Seiten gleich elastischen Mittel (abgesehen von Ursachen, welche die Richtung der Welle abändern) die Gerade, die von dem Orte der Schallerregung zu dem genannten Wellenstücke geht. Man nennt eine solche gerade Linie einen Schallstrahl.

420. Gelangt eine Schallwelle an eine Stelle, wo das Medium, in dem sie bisher fortging, aufhört und ein anderes beginnt, so spaltet sich gleichsam die Welle in zwei Theile; der eine dringt in das neue Mittel ein, der andere aber kehrt in das vorige zurück, d. h. er wird reflectirt. Man muß aber die regelmäßige Reflexion des Schalles von der Zerstreuung desselben wohl unterscheiden. Bei ersterer bilden die einzelnen Elementarwellen, die sich zu einer wirksamen Schallwelle zusammengesetzt haben (349), selbst noch nach der Zurückwerfung eine wirksame Welle, bei letzterer wird eine wirksame Welle durch Reflexion in ihre Elementarwellen zerlegt, und hört dadurch auf, eine deutliche Schallempfindung hervorzubringen: bei ersterer macht der reflectirte Schallstrahl mit der Trennungsfläche beider Mittel einen Winkel, welcher jenem gleich ist, den der auffallende Strahl mit derselben einschließt; bei letzterer wird der einfallende Strahl durch Reflexion in eine Menge nach verschiedenen Richtungen ausfahrender einzelnen Strahlen aufgelöset; erstere tritt ein, wenn die Grenze der Schallmittel, wo die Zurückwerfung Statt hat, eine Ebene oder eine ziemlich regelmäßig gekrümmte Fläche ist, letztere, wenn diese Grenze unregelmäßige Erhöhungen und Vertiefungen hat. Das Verhältniß der Intensität des regelmäßig reflectirten und durchgelassenen Strahles richtet sich nach dem Verhältnisse der Schallgeschwindigkeit in beiden an einander grenzenden Mitteln. Die regelmäßige Reflexion tritt nach den angeführten Gesetzen am deutlichsten an nach einer Kugelkrümmung ausgehöhlten Flächen (Nischen in Gebäuden) hervor. Stellt man zwei solche hohle Flächen (Hohlspiegel) einander gegenüber, und es spricht Einer mit dem Gesichte gegen eine Fläche

gekehrt in der Entfernung des halben Radius derselben, so hört ihn ein Zweiter, der sein Ohr in der entsprechenden Entfernung von der zweiten Fläche hat, deutlich, während Andere in der Nähe befindliche nichts hören. Es werden also die Schallstrahlen, welche auf die erste Fläche auffallen, parallel mit einander reflectirt, fallen so auf die zweite, und erleiden daselbst wieder eine Reflexion, wodurch sie aber vereiniget werden. Von der Art war das sogenannte Ohr des Dionysius in den Steinbrüchen bei Syrakus.

Aus dem Gesagten ist begreiflich, daß nicht bloß feste, sondern auch tropfbare und ausdehnsame Körper, wie z. B. Wolken, warme Luft u. s. w., den Schall reflectiren können, und daß überhaupt bei jedem Uebergange des Schalles von einem Mittel in ein anderes eine Reflexion eintritt. Bei den Schallversuchen in Frankreich bemerkte man, daß der Knall einer Kanone bei heiterem Himmel ganz einfach gehört wurde, während er bei einer nur mäßigen Bewölkung an demselben Orte wie das Rollen des Donners erschien, zum Beweise, daß selbst Wolken den Schall reflectiren. Da unser Urtheil über die Lage des schallenden Körpers von der Fortpflanzungsrichtung der zu unserem Ohre gelangenden Schallwelle abhängt, so muß dieses, wenn nicht andere Puncte darauf Einfluß nehmen, stets unrichtig ausfallen, so oft ein Schallstrahl auf seinem Wege von der geraden Richtung abgelenkt wird; daher es schwer ist, in einem Walde die Quelle eines bestimmten Schalles zu finden, und hierüber so leicht Irrungen Statt finden können.

421. Ist die Entfernung des reflectirenden Körpers von der Quelle des Schalles nicht groß, so fällt der reflectirte Schall mit dem ursprünglichen zusammen, und bewirkt eine Verstärkung desselben; beträgt die Entfernung mehr, so kann durch die Reflexion der ursprüngliche Schall nicht bloß verstärkt, sondern auch verlängert werden, jedoch ohne daß eine Unterbrechung wahrzunehmen ist. Dieses nennt man einen Nachhall. Ist endlich die Entfernung so groß, daß der reflectirte Schall erst dann zurückkommt, wenn sich das Ohr vom ersten Schalle so erholt hat, daß es für einen zweiten vollkommen empfänglich ist; so vernimmt man den Schall doppelt, und diese Erscheinung heißt Wiederhall oder Echo. Da der Erfahrung gemäß das menschliche Gehör in einer Secunde 9 Laute völlig deutlich vernehmen und von einander unterscheiden kann, so muß ein Gegenstand, der den letzten Laut eines zusammenhängenden Schalles als Echo zurücksenden soll, $1050 : 18 = 58{,}3$ Fuß entfernt seyn. Beträgt diese Entfernung $58{,}3 \times 2 = 116{,}6$ Fuß, so werden die zwei letzten Laute im Echo vernehmbar, oder es ist zweisilbig, bei der Entfernung von $58{,}3 \times 3 = 174{,}9$ Fuß dreisylbig ꝛc. Gibt es mehrere reflectirende Gegenstände, wovon einer ein einsylbiges, der andere ein zweisylbiges, der dritte ein dreisylbiges Echo hervorbringt; so entsteht ein zweifaches oder dreifaches Echo. Daß zur Entstehung eines Echo's nicht bloß die gehörige Entfernung des reflectirenden Körpers vom Hörenden, sondern auch eine der regelmäßigen Reflexion (nicht Zerstreuung)

des Schalles günstige Beschaffenheit desselben gehöre, ist aus dem Vorhergehenden klar.

Ein Echo mag wohl im Freien sehr ergötzen, in Hörsälen, Theatern rc. ist es aber höchst nachtheilig. Um es da zu verhüten oder zu mindern, ist das Durchbrechen der Decke, das Unebenmachen derselben mit Zierathen, das Behängen mit Teppichen, oder wenn die Wände hohl sind, das Ausfüllen der Höhlungen mit Sägespänen, ein wirksames Mittel Es gibt viele schon vom Alterthume her berühmte Echo. Ein solches am Grabmale der Metella, Gemahlin des Crassus, soll den ersten Vers der Aeneide achtmal wiederholt haben; ein Echo zwischen Coblenz und Bingen soll ein Wort siebzehnmal wiederholen, ein anderes bei dem Schlosse Simonetta unweit Mailand gibt gar eine vierzigmalige Wiederholung desselben Lautes Bei Verdun ist ein zwölf- bis dreizehnfaches Echo vernehmbar. In großen, durch Kuppelgewölbe geschlossenen Räumen sind mehrfache Echo keine Seltenheit.

422. Die Intensität des Schalles hängt, abgesehen von der Empfindlichkeit des Gehörorganes, von der Größe des Stoßes ab, der auf dieses Organ ausgeübt wird, und von dem Zwischenraume, der einen Stoß vom andern trennt. Daraus ergibt sich, daß die Stärke des Schalles durch die Beschaffenheit und Bewegung des schallenden Körpers, durch die Natur des fortpflanzenden Mittels und endlich auch noch durch die Lage des Hörenden gegen den schallenden Körper bestimmt wird.

423. Je mehr Theile des schallenden Körpers zugleich schwingen, je schneller sie dieses thun und je größere Excursionen sie machen, ferner, je weniger die Wirkungen der verschiedenen oscillirenden Theile des schallenden Körpers auf das Schallmittel einander entgegengesetzt sind, desto größer wird der Unterschied zwischen der Dichte des verdichteten und verdünnten Theiles einer Schallwelle, mithin desto intensiver ihre Wirkung auf das Gehörorgan. Je vollkommener die Trennung der einzelnen Stöße des schallenden Körpers auf das Schallmittel ist, desto mehr Intensität erhält der Schall.

Deßhalb ist der Ton einer Metall- oder Glasplatte so stark, daß man ihn ohne Hülfsmittel weit hört (Glockengeläute), während der Ton einer Saite und einer Stimmgabel schon in kleiner Entfernung nicht mehr hörbar ist; darum verursachen lange Peitschen einen stärkeren Knall als kurze, deßhalb ist der Donner einer Kanone heftiger als der Knall einer Flinte; aus diesem Grunde sind hohe Töne und solche, die dicken Saiten entlockt werden, so ausgiebig; darum verstärkt bei Streichinstrumenten das Ausdrücken mit dem Bogen und das Rauhmachen desselben mit Kolophonium den Ton so sehr. Die Zinken einer auf gewöhnliche Weise zum Tönen gebrachten Stimmgabel haben gleichzeitig fast einander entgegengesetzte Bewegungen, die sich auch der Luft mittheilen, und darum nur einen sehr schwachen Ton erzeugen. Bringt man an einer Zinke ein Papierscheibchen an, das beim Schwingen mit seiner Fläche gegen die Luft schlägt, und macht die Masse der zweiten Zinke durch Wachs der ersten gleich, so wirkt eine Zinke viel stärker auf die Luft als die andere, und der Ton wird in der That viel stärker und heller. Dreht man ein mit vielen Speichen versehenes Rädchen um seine Axe, und läßt es dabei mit den Speichen an einen

leichten Körper anstoßen, so wird der dadurch erregte Schall desto stärker, je weiter der stoßende Körper vom Mittelpuncte des Rades absteht, mithin je stärker die einzelnen Stöße und je schärfer sie von einander getrennt sind.

424. Je dichter das den Schall fortpflanzende Mittel ist, und je weniger es den Stößen des schallenden Körpers ausweicht (je geringer seine Expansivkraft im Vergleiche mit der Dichte ist), desto größer wird die Dichte des verdichteten, und desto kleiner die des verdünnten Wellentheiles, mithin desto intensiver wird der Schall. Je weniger das Mittel vermöge seiner Gestalt den Wellen erlaubt, sich zu erweitern und eine größere Masse in Bewegung zu setzen, desto leichter erhält es den Schall bei seiner ursprünglichen Stärke. Je seltener eine Schallwelle gezwungen wird, von einem Mittel in ein anderes überzugehen, desto mehr wird die bei jedem Wechsel des Mittels (420) Statt findende Theilung der Welle verhüthet, und für die Erhaltung ihrer ursprünglichen Intensität gesorgt. Der Wind muß offenbar den Schall verstärken oder schwächen, je nachdem er mit oder gegen denselben geht.

Hieraus erklären sich: Die besondere Schwäche des Schalles im Wasserstoffgas, wie Leslie zeigte, und in verdünnter Luft, z. B. unter dem Recipienten einer Luftpumpe oder auf hohen Bergen; warum eine angeschlagene Stimmgabel nicht lautet, wenn sie in eine Drehbank eingespannt und schnell umgedreht wird; warum man an kalten Tagen einen Schall weiter hört, als an warmen; warum man eine Uhr durch die Luft in mäßiger Entfernung nicht mehr, mittelst eines daran gehaltenen Stabes aber (wo die Schallwellen wie in einer cylindrischen Röhre sich fortpflanzen müssen, und sich nicht erweitern können) noch recht gut hört; warum dieses ein Stab besser thut, als ein unförmlicher Klotz; warum man sich auf die Erde legen muß, um weit entferntes Geräusch zu hören; warum der Schall durch zwei Breter, die eine Luftschichte zwischen sich enthalten, mehr geschwächt wird, als durch ein einziges doppelt so dickes Bret; warum Wolle, Sägespäne und alle Körper, die viele mit Luft gefüllte Zwischenräume haben, den Schall so sehr schwächen; warum ein Laut bei Nacht, wo die Luft gleichförmiger erwärmt ist, als bei Tage, auch besser gehört wird rc.

425. Weil die Schallwellen in freier Luft immer größer werden, je weiter sie sich vom schallenden Körper entfernen; so muß die Bewegung der Theile, welche das Ohr treffen, in demselben Verhältnisse kleiner werden, und es müssen auch dieser Theile wenigere seyn. Darum nimmt der Schall in der Luft in dem Maße ab, in welchem das Quadrat der Entfernung des Hörenden vom schallenden Körper zunimmt. Wenn das Schallmittel vom schallenden Körper ringsum, gleichzeitig und auf dieselbe Weise afficirt wird, wie dieses z. B. bei einer explodirenden Knallgasblase der Fall ist, so wird der Schall in gleichen Entfernungen von diesem Körper ringsum gleich stark wahrgenommen; wird aber dieses Mittel an einigen Stellen stärker als an anderen afficirt, so muß es rings um den schallenden Körper selbst bei gleicher Entfernung von ihm Stellen geben, wo der Schall stärker er-

scheint als an anderen, ja an einigen Stellen kann derselbe ganz verschwinden.

Eine schwingende Saite erregt nach der Richtung ihrer Ausbeugung eine verdichtete, nach der entgegengesetzten gleichzeitig eine verdünnte Luftwelle, und geht man rings um die Saite herum, so kommt man von der Gegend, wo die verdichtete Welle gleichsam vorausgeht, in jene, wo dieses mit der verdünnten der Fall ist; an der Grenze beider kann demnach weder Verdünnung noch Verdichtung Statt finden, und daher wird dort das Ohr gar nicht afficirt werden. Bei Saiten sind diese Grenzstellen schwer zu finden (wiewohl an ihrer Existenz nicht gezweifelt werden kann), weil man Saiten überhaupt ohne Resonanzboden nicht weit genug hört, und das Mittönen eines Resonanzbodens eine Störung hervorbringt; bei einem Stabe, den man durch einen Schlag nach der Quere zum Tönen bringt, trifft man diese indifferenten Stellen leicht, wenn man um ihn herumgeht, oder noch besser, wenn man ihn vor dem Ohre um seine Axe dreht. Am besten gelingt dieser Versuch mit einer Stimmgabel, wo beide Zinken zur Erzeugung dieses Phänomens zusammenhelfen. Da tritt es auch so deutlich hervor, daß W. Weber sogar die vier Flächen rings um die Gabel, wo kein Tönen vernommen wird, näher bestimmen, und ihre hyperbolische Krümmung nachweisen konnte (Schweigg. J. 48. 385). Dreht man eine schwingende Stimmgabel vor der Mündung eines Cylinderglases von schicklicher Länge, damit die in demselben befindliche Luftsäule mitklinge, und dadurch das Tönen der Gabel verstärkt werde; so läßt sich die Abhängigkeit der Stärke des gegen diese Luftsäule hin fortgepflanzten Klanges von der Stellung der Flächen der Zinken gegen die Mündung des Glases leicht mehreren zugleich hörbar machen. Stellt man das Ende eines tönenden Stabes oder die Zinken einer Stimmgabel in Wasser, so werden die Bewegungen des Schallmittels gleichsam sichtbar. (Chladni in Kast. Arch. 7. 62.)

426. Man kann durch Kunst einen Schall so modificiren, daß er sich ohne merkliche Abnahme sehr weit fortpflanzen läßt. Im Allgemeinen geschieht dieses dadurch, daß man die Schallwellen mittelst Röhren, die glatt genug sind, um nicht selbst in Schwingungen versetzt zu werden, oder durch Reibung einen Theil der bewegenden Kraft zu vernichten, abhält, sich zu erweitern und eine größere Masse in Bewegung zu setzen. Dieses bewirken: Das Communicationsrohr, das Sprachrohr und das Hörrohr. Das Communicationsrohr ist eine beliebig lange, cylindrische Röhre, in welcher die an einem Ende erregten Schallwellen so fortgehen, wie 347 gezeigt wurde, ohne sich zu erweitern und an Intensität zu verlieren. Deßhalb hört man am anderen Ende den Schall so gut, als wäre er zunächst am Ohre erregt worden. Das Sprachrohr (Fig. 195) ist eine conische Röhre, in welcher die Schallwellen, die man an der engeren Oeffnung erregt, so modificirt werden, daß sie selbst nach ihrem Austritte in großer Entfernung vom Rohre eine starke Intensität behalten. Nach Lambert thut eine Röhre, welche einen gemeinen, abgestumpften Kegel vorstellt, diese Dienste, wenn nur zwischen beiden Oeffnungen und der Länge ein rechtes Verhältniß herrscht; nach Anderen verdient ein Kegel, dessen Wände eine logisti-

sche oder hyperbolische Krümmung haben, den Vorzug. Das Hörrohr (Fig. 196) ist eine trichterförmige, kurze, meistens gebogene Röhre, wodurch die in die weitere Oeffnung eindringende Schallwelle gleichsam verdichtet wird, so daß Einer, der dieses Instrument vor das Ohr hält, den in einiger Entfernung erregten Schall so gut hört, als wäre er zunächst am Ohre hervorgebracht. (Siehe Lambert über einige akustische Instrumente. Berlin, 1796.)

427. Das Organ, welches zur Aufnahme hörbarer Eindrücke bestimmt ist, nämlich das Ohr, zerfällt in das äußere und das innere Ohr. Das äußere besteht aus der Ohrmuschel und aus dem Gehörgange, das innere aus dem Trommelfelle, der Trommelhöhle, dem Labyrinthe und dem Gehörnerv. Die Ohrmuschel ist ein knorpeliger muschelförmiger Ansatz, mit mehreren vertieften und hervorragenden Windungen, welche zu dem Gehörgange führen. Dieser ist ein anfangs knorpeliger und am inneren Ende knöcherner Kanal, der durch das Trommelfell geschlossen ist. Hinter dem Trommelfelle beginnt die Trommelhöhle, in welcher sich die Gehörknöchelchen, der Hammer, der Ambos, der Steigbügel und das runde Knöchelchen des Sylvius befinden. Der Hammer theilt sich wie ein Winkelhebel in zwei Arme, wovon einer am Ende mit dem Trommelfelle verwachsen, der andere aber in den Ambos eingelenkt ist. Der Ambos ist mit seiner Spitze durch das Sylvische Bein (einem linsenförmigen Knöchelchen) mit dem Steigbügel verbunden. Alle diese Knöchelchen bilden gleichsam ein Hebelsystem, und sind mit eigenen Muskeln zu ihrer Bewegung versehen, wovon drei (der Spanner, der große und der kleine Erschlaffer) zum Hammer gehören, und einer zum Steigbügel. Die Trommelhöhle steht durch das sogenannte ovale und runde Fenster mit dem Labyrinthe in Verbindung. Das ovale Fenster ist durch die Fußplatte des Steigbügels geschlossen, das runde Fenster aber mit einem Häutchen überspannt, welches auch das zweite Trommelfell heißt. Eine andere Communication hat die Trommelhöhle mit der Mundhöhle durch die Eustachische Ohrtrompete; sie ist darum stets mit Luft von gleicher Spannung mit der atmosphärischen und von beständiger Temperatur versehen. Das Labyrinth besteht aus dem mit dem ovalen Fenster versehenen Vorhofe, aus den drei halbkreisförmigen, im Vorhofe entstehenden und wieder dahin zurückkehrenden Kanälen und aus der Schnecke. Diese hat $2^1/_2$ Windungen und ist der Länge nach durch eine Scheidewand in zwei Theile getheilt, welche Treppen heißen. Die eine derselben fängt am Vorhofe, die andere am runden Fenster an. Beide sind mit Nervensubstanz versehen; übrigens ist das ganze Labyrinth mit einer wässerigen Flüssigkeit erfüllt. — Außer dem Menschen haben nur noch mehrere vierfüßige Säugethiere wahre äußere Ohren, bei den im Wasser lebenden oder jenen, die darin leben können, ist der Gehörgang mit einer eigenen Klappe verschlossen, bei den Vögeln ersetzt die äußerst regelmäßige Stellung der Federn um den Gehörgang

das äußere Ohr. Die vollkommeneren Thiere, wie die Säugethiere, die Vögel, viele Amphibien, haben ein Trommelfell, die Eustachische Röhre und Gehörknöchelchen. Das Gehörorgan der Fische besteht bloß aus drei sehr ansehnlichen Bogengängen. Thiere ohne erdige Knochenmasse haben wahrscheinlich kein Gehörorgan.

428. Ueber die Verrichtungen jedes einzelnen Theiles des Gehörorganes ist man keineswegs so in Kenntniß, wie es zu wünschen wäre. Am wahrscheinlichsten ist Folgendes: Die Schallwellen werden von der Ohrmuschel aufgenommen und wie in einem Hörrohre concentrirt. Nach Savart wird die Muschel selbst in Schwingungen versetzt, und hat die Bestimmung, den ankommenden Schallwellen stets dieselbe Fläche darzubieten, und so die Intensität des Schalles von der Neigung der Schallstrahlen gegen das Ohr unabhängig zu machen. Der Gehörgang leitet die Schallwelle zum Trommelfelle, das dadurch in Bewegung gesetzt wird und den Schall wahrnehmbar macht, gleichwie ein Blatt feines Papier, das man in der Hand hält, durch sein fühlbares Zittern die Einwirkung eines Schalles verräth, der sich unmittelbar dem Tastsinne nicht verrathen hätte. Die Bewegung des Trommelfelles theilt sich den kleinen Knöchelchen mit. Um einen leisern Schall wahrzunehmen, zieht der Spanner das Trommelfell einwärts und die Steigbügelmuskel den Steigbügel gegen das ovale Fenster; die Schallwelle trifft dann nicht bloß das mehr elastische Trommelfell, sondern sie gelangt auch durch lauter feste Körper, gleichsam durch Ein Mittel, bis zum Labyrinth, und erleidet daher jene Schwächung nicht, die stets eintritt, wenn der Schall von einem Mittel in ein anderes übergehen muß. Um einen starken Schall ohne Nachtheil zu empfinden, ziehen die Erschlaffer das Trommelfell auswärts und dadurch den Steigbügel vom ovalen Fenster zurück, so daß nun die Schallwelle nicht bloß ein schlaffes Häutchen trifft, sondern auch noch von den Knöchelchen in die Luft und von dieser wieder in einen festen Körper übergehen muß, um ins Labyrinth zu gelangen. Daher kann ein solcher Schall dem Gehörorgane durch seine zu große Intensität nicht gefährlich werden, wenn er dasselbe nicht etwa unvorbereitet überrascht. Die in der Trommelhöhle befindliche Luft bewirkt durch ihre unveränderliche Temperatur, daß alle Theile dieselbe Elasticität behalten, und das Ohr die schon einmal wahrgenommenen Laute wieder erkennt; es scheint auch, als diene sie zum Mittönen, wie die in einem Resonanzkasten eingeschlossene Luft. Im Labyrinthe befindet sich die Schallwelle in einer tropfbaren Flüssigkeit, die selbst zu tönen vermag, und erfährt beim Fortgange durch die Bogengänge, welche eine heberförmige conische Röhre formiren, deren Scheitel nach einwärts gekehrt ist, eine Verstärkung, geht aber von dieser Flüssigkeit unmittelbar in den Nerv über, welcher in derselben schwimmt, sich unmittelbar an sie anschließt, und daher jene Continuität des Fortpflanzungsmittels bewirkt, die zur Erhaltung einer gewissen Schallstärke unerläßlich ist.

Auf dem hier vorgezeichneten Wege gelangt zwar die schwingende Bewegung in der Regel zum Gehörnerv, allein sie kann auch durch die

festen Theile des Körpers dahin gelangen, ohne durch das äußere Ohr zu gehen. Man hört eine Stimmgabel, die man an die Zähne angesetzt, und Harthörige oder gar Taube können die Töne eines Klaviers wahrnehmen, wenn sie einen Stab an dasselbe und zugleich an den Kopf halten. Um Zuhörern von den einzelnen Theilen des Gehörorganes deutliche Vorstellungen zu verschaffen, leisten die in Dresden unter Hofrath Seiler's Leitung von Papaschny verfertigten, die Naturgröße weit übertreffenden Gipspräparate vortreffliche Dienste.

Ueber die Lehre vom Schalle (Akustik) ist vorzüglich zu empfehlen und als Repertorium von Chladni's akustischen Entdeckungen anzusehen: Chladni's Akustik. Leipzig, 1802. 4. Desselben neue Beiträge zur Akustik. Leipzig, 1817. 4. Noch vortrefflicher ist die von ihm selbst veranstaltete französische Bearbeitung: *Traité d'Acoustique par E. F. Chladni. Paris* 1809. Kurze Uebersicht der Schall- und Klanglehre nebst einem Anhange, die Entwicklung und Anordnung der Tonverhältnisse betreffend, von E. F. Chladni. Mainz, 1827. Viel Lehrreiches enthält Weber's Wellenlehre, zweiter Hauptheil, ferner die auf diesen Gegenstand sich beziehenden Artikel in den Repertorien von Fechner und Dove und im neuen Gehler'schen Wörterbuche.

Naturlehre.

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erster Abschnitt.

Magnetismus.

Erstes Kapitel.

Allgemeine magnetische Erscheinungen.

1. Unter den Eisenerzen findet man einige, welche von Natur aus die merkwürdige Eigenschaft besitzen, Eisen anzuziehen. Man nennt sie Magnete, und die Kraft, welche sie auf das Eisen ausüben, magnetische Kraft. Die meisten derselben sind nur im Stande ganz kleine Eisenmassen an sich zu ziehen und zu tragen; manche derselben tragen aber Stücke von namhaftem Gewichte. Es läßt sich weder aus ihrer Größe, noch aus ihrer Gestalt auf die Stärke ihrer Kraft schließen. Starke Magnete findet man stets nur am Ausgange eines magnetischen Eisenerzlagers, oder, wie die Bergleute sagen, zu Tage.

Außer der Kraft, Eisen anzuziehen, haben die Magnete, jedoch nur im Zustande der Bewegung, die Fähigkeit, elektrische Ströme zu erzeugen. Davon kann erst in dem folgenden Abschnitte, wo die Beziehung zwischen Magnetismus und Elektricität zur Sprache kommt, gehandelt werden.

2. Die magnetische Kraft äußert sich schon in gewisser, nach Umständen in großer Entfernung vom Magnete mit merklicher Stärke; denn kleine Eisentheile geben in bedeutenden Distanzen die Einwirkung des Magnetes, der sie unterliegen, zu erkennen. Diese Einwirkung findet selbst dann noch Statt, wenn zwischen dem Magnete und dem Eisen sich andere Substanzen befinden, auf die ein Magnet keine merkliche Einwirkung ausübt; doch scheint nach Gintl's Versuchen (Holger's Zeitschr. 7. 1.) die magnetische Kraft hiebei eine Schwächung zu erleiden.

3. Ein Magnet hat nicht an allen Stellen dieselbe Kraft, sondern sowohl die Größe wie auch die Richtung der Kraft ändert sich, wenn man verschiedene Stellen des Magnetes nach einander untersucht. Die Aenderung der Größe der Kraft zeigt sich dadurch, daß eine Eisenmasse, die an einer Stelle von dem Magnete getragen wird, an einer andern nicht haftet; auch schon durch die ungleiche Anhäufung von Eisenfeile an verschiedenen Stellen. Auf die Aenderung der Richtung kann man aus dem Umstande schließen, daß ein Stückchen

feinen Eisendrahtes, welches in eine dünne, mit einem Stiele versehene Glaskugel eingeschlossen ist, an einigen Orten sich normal gegen die Fläche des Magnets aufstellt, an andern aber sich legt. Ersteres findet an zwei einander entgegengesetzten Stellen der Oberfläche des Magnetes Statt, wo sich auch die Eisenfeile am stärksten anhäuft und die Tragkraft am größten erscheint. Man pflegt diese zwei Stellen die Pole des Magnetes zu nennen. Nur ausnahmsweise kommen an demselben Magnete mehr als zwei solche Pole vor, ein Umstand worüber erst das Folgende Aufschluß geben kann.

4. Betrachtet man die Art, auf welche die Eisenfeile sich an den Polen eines Magnetes anhäuft, genauer, so findet man, daß nicht alle Späne unmittelbar am Magnete selbst, sondern eine ganze Reihe von Spänen einer an dem anderen hängen. Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn man ein kurzes Eisenstängelchen mit dem Magnete an einem Pole in Berührung bringt. An dieses Stängelchen läßt sich ein zweites, und wenn der Magnet stark ist, an letzteres ein drittes, viertes 2c., oder doch wenigstens Eisenfeile hängen, und dieß geht selbst dann an, wenn das erste Stängelchen den Magnet nicht unmittelbar berührt, sondern demselben nur sehr nahe steht. Es erlangen daher die Eisenstängelchen, indem sie dem Magnete nahe kommen, selbst magnetische Kraft. Diese Erfahrung bietet ein Mittel dar, die Kraft eines Magneterzes mit größerem Erfolge hervortreten zu lassen. Man ebnet den Magnet an den Polen so, daß zwei einander parallele Flächen entstehen, und deckt jede derselben mit einer Eisenplatte, die in einen dicken zapfenförmigen Fortsatz aus demselben Metalle, Fuß genannt, ausläuft. Das Ganze schließt man in ein messingenes oder hölzernes Gehäuse ein, aus dem die beiden Füße nach derselben Seite hervorragen. In diesem Zustande heißt der Magnet armirt. Diese Füße zeigen nun eine größere Tragkraft als die Polflächen des nicht armirten Magnetes. Legt man gegen die Füße ein Stück weiches Eisen, das in der Mitte mit einem Haken zur Aufnahme von Gewichten versehen ist und Anker heißt, so kann man die sogenannte Tragkraft des armirten Magnetes leicht erproben. Sie nimmt zu, wenn man die Belastung in größeren Zeitintervallen nur allmälig vermehrt, ohne sie bis zum völligen Losreißen des Ankers zu steigern. Geschieht dieses, so trägt der Magnet nicht mehr die Last, die er doch vorher zu halten vermochte, erlangt aber nach und nach wieder die vorige Stärke.

5. Mit einem armirten Magnete läßt sich besonders gut darthun, daß ein Eisenstängelchen, mit einem Fuß des Magnets in Berührung gebracht, nunmehr die Fähigkeit erlangt, Eisenfeile anzuziehen oder ein anderes Eisenstängelchen zu tragen, welches seinerseits dieselbe Fähigkeit, jedoch in einem geringeren Grade äußert. In Betreff des Vermögens, die so erlangte magnetische Kraft auch bleibend, d. h. nach der Entfernung vom Magnete zu behalten, besteht aber ein auffallender und höchst merkwürdiger Unterschied zwischen reinem (weichen) Eisen und gehärtetem Stahle (Eisen in Verbindung mit Kohlenstoff,

etwa mit 1 Procent). Ersteres, das weiche Eisen, zeigt in Berührung mit einem Magnetpole kräftigen Magnetismus, verliert ihn aber gänzlich, wenn die Berührung mit dem Magnete aufgehoben wird. Die Stängelchen aus weichem Eisen, welche, während das erste derselben mit dem Magnetpole im Contact steht, an einander hängen, fallen aus einander, sobald das erste vom Magnete entfernt wird, und erscheinen dann selbst gegen feine Eisenfeile ganz indifferent. Bringt man dagegen ein Stängelchen aus gut gehärtetem Stahle oder eine Nähnadel, mit einem Pole eines Magnets in Berührung, zumal wenn man die Nadel ihrer Länge nach ein oder mehrere Male, jedoch stets in derselben Richtung, am Magnetpole vorüber führt (streicht), so zeigt das Stängelchen oder die Nadel, auch nach der Aufhebung des Contactes, eine selbstständige und bleibende magnetische Kraft. Auf diese Erfahrung gründet sich die Anfertigung künstlicher Magnete (im Gegensatze mit den bisher betrachteten natürlichen), denen man dadurch, daß man mehrere derselben zweckmäßig mit einander combinirt, und die so verstärkten Magnete zur Erzeugung anderer verwendet, eine bei weitem größere Kraft zu ertheilen vermag, als die stärksten natürlich vorfindigen Magnete besitzen. Wir werden daher im Folgenden stets voraussetzen, daß man es mit einem künstlichen Magnete zu thun habe, der entweder die Form eines geraden oder auch eines hufeisenförmig gekrümmten Stabes mit gleich langen parallelen Schenkeln haben kann, und vor der Hand uns mit der Annahme begnügen, daß der Stab seinen Magnetismus durch Streichen mit einem Magnetpole der Länge nach erhalten habe. Die Pole liegen dann an den Enden des Stabes. Ein dünnes, gerades Magnetstäbchen, das in einer horizontalen oder verticalen Ebene um eine Axe beweglich ist, heißt eine Magnetnadel. Im ersteren Falle gibt man der Nadel nicht selten ein Hütchen und läßt sie mittelst desselben auf einer Spitze schweben (Fig. 197), oder man hängt die Nadel an einem Faden auf.

6. Ein Magnet, der in einer horizontalen Ebene beweglich ist, richtet sich immer mit einem Pole gegen Norden, mit dem andern gegen Süden. Deßwegen heißt man jenen den Nordpol, diesen den Südpol des Magnetes, und diese seine Eigenschaft überhaupt magnetische Polarität. Die Verticalebene, in welcher sich die Pole einer frei hängenden Magnetnadel, als Linie betrachtet, befinden, heißt magnetischer Meridian. Vergleicht man diesen mit dem geographischen Meridiane des Beobachtungsortes, so findet man, daß beide sich unter einem Winkel schneiden, welcher die Abweichung (declinatio) des Magnetes heißt. Hat man eine Magnetnadel in ihrem Schwerpuncte so befestiget, daß sie sich um eine horizontale Axe drehen kann, so bemerkt man, daß sich ihr Nordpol unter die Horizontalebene hinabsenkt. Der Winkel, welchen sie mit dem Horizonte macht, wird die Neigung (inclinatio) der Nadel genannt. Eine auf der Richtung einer im Schwerpuncte aufgehängten Magnetnadel senkrechte Ebene heißt der magnetische Aequator. Die Abwei-

chung sowohl als die Neigung gibt sich auch bei jeder anderen Form des Magnetes zu erkennen, sobald nur die Lage der beiden Pole bekannt ist, und der Magnet eine hinreichende Beweglichkeit besitzt; doch kann die schärfere Bestimmung dieser Begriffe, da sie jenen der magnetischen Axe voraussetzt, erst später gegeben werden.

7. Nähert man dem Nordpole eines hinreichend beweglichen Magnetes den Nordpol eines anderen Magnetes, so äußert sich zwischen beiden eine Abstoßung. Dasselbe zeigt sich, wenn der Südpol des einen dem Südpole des andern nahe kommt. Dagegen herrscht zwischen einem Nordpole und einem Südpole Anziehung. Diese Erscheinungen führen zu der Regel: Gleichnamige Magnetpole stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an. Die Pole, welche sich anziehen, werden auch freundschaftliche, diejenigen, welche sich abstoßen, feindliche Pole genannt. Vermöge dieses Gesetzes richten sich zwei bewegliche Magnete, wenn sie einander nahe stehen, immer so, daß ihre ungleichnamigen Pole einander zugewendet sind. Ein Gleiches zeigt sich, wenn bloß einer der Magnete beweglich ist, an der Stellung, die er gegen den fixen Magnet annimmt.

Obiges Gesetz ist zum Behufe vieler magnetischer Spielwerke angewendet worden; es gibt uns aber auch ein sicheres Mittel an die Hand, zu erkennen, ob ein Körper magnetische Kraft besitze oder nicht. Man darf einen solchen nämlich nur einem Magnete, der seine vermuthliche Stärke nicht um gar viel übertrifft, nähern, und sehen, ob bei irgend einem Puncte eine Abstoßung Statt findet. Nur in diesem Falle sind beide Körper magnetisch. Auf die Anziehung kann man sich bei dieser Beurtheilung nicht mit Sicherheit verlassen.

8. Das Gesetz, nach welchem die Magnetpole auf einander einwirken, führt bezüglich der bestimmten Stellung, die eine Magnetnadel gegen die Erde annimmt, sogleich auf die Vermuthung, daß die Erde dabei wie ein Magnet wirke, und daher die Nadel sich so wende, daß ihre Pole den Polen der Erde, mit welchen sie befreundet sind, so nahe als möglich kommen. Es ist leicht einzusehen, daß der Nordpol eines Magnetes, und falls der Erde wirklich, wie einem anderen Magnete, Pole zukommen, der gegen Norden gelegene magnetische Pol der Erde freundschaftliche, mithin ungleichartige Pole sind, und daß man daher jenen Südpol nennen soll, wenn man diesen Nordpol heißt. Indeß ist es in Deutschland Sitte, den nach Norden gewendeten Pol eines Magnetes Nordpol, den nach Süden gekehrten Südpol zu nennen.

9. Man kann die magnetische Natur der Erde noch mehr durch folgende, dem was man bei einem Magnete bemerkt, ganz analoge Erscheinung bekräftigen: Hält man eine weiche Eisenstange in den magnetischen Meridian, und gibt ihr eine Neigung gegen den Horizont, welche der Inclination des Magnetes gleicht, so lehrt die Erfahrung, daß sie alsogleich magnetische Polarität zeigt, und zwar bekommt das nach Norden gewendete Ende den Nordpol, das entgegengesetzte den Südpol, verliert diese Eigenschaft aber augenblicklich, sobald man die Stange aus dieser Richtung in eine darauf senkrechte bringt.

Eigentlich ist eine Eisenstange nur in letzterer Lage ganz ohne magnetische Polarität, in jeder anderen besitzt sie diese in einem desto größeren Grade, je mehr sich ihre Richtung der zuerst genannten nähert, in dieser ist sie am größten. Durch mechanische Behandlung, z. B. durch Schlagen, Feilen, Drehen, Winden, schnelles Abkühlen rc. wird die Empfänglichkeit für den Magnetismus in dieser Lage erhöht, und derselbe oft auch dauernd gemacht.

Die durch den Einfluß der Erde in den magnetischen Zustand versetzte Eisenstange kann dienen, Stahl durch Streichen an ihr bleibend magnetisch zu machen, woraus hervorgeht, daß man, ohne im Besitze eines eigentlichen Magnetes zu seyn, dennoch sich beliebig starke Magnete verschaffen könne, indem man den Magnetismus der Erde dazu dienstbar macht. Ein eiserner Draht erlangt schon magnetische Kraft, wenn man ihn mit einer Zange hält, die vom magnetischen Aequator abweicht, und es bekommt sein oberes Ende einen Süd-, das andere einen Nordpol. Allein dieser Magnetismus erlangt eine viel größere Stärke, wenn man den Draht in der genannten Lage schlägt, biegt, dreht, streckt, feilt oder sonst mechanisch verändert. Macht man Eisen rothglühend und löscht es in lothrechter Lage im Wasser ab, so wird es magnetisch, und das obere Ende erhält den Süd- das untere den Nordpol. Den stärksten Magnetismus erlangt ein Eisenstab, wenn er vertical gestellt wird, und mit seinem unteren Ende auf einer anderen verticalen Eisenstange ruht, während man auf das obere mit einem Hammer schlägt. (Gilb. Ann. 67. 319; 68. 260.) Bei allen diesen Operationen ist es eigentlich der Erdmagnetismus, der magnetisirend wirkt; die mechanische Behandlung des zu magnetisirenden Körpers disponirt denselben nur zur leichteren Hervorrufung seiner magnetischen Kräfte.

10. Eisen und Stahl sind nicht die einzigen Substanzen, welche in den magnetischen Zustand versetzt werden können; man weiß mit voller Sicherheit, daß auch der Nickel dieselbe Eigenschaft besitzt, und sie soll auch dem Kobalt, Chrom und Mangan zukommen. Gewiß ist es aber, daß selbst Eisen, Stahl und Nickel nur unter einer gewissen Temperatur magnetisch seyen oder es es werden können, über dieser aber nicht (natürlich magnetisches Eisenerz nur unter der Rothglühhitze, Eisen unter der Hellrothgluth, Nickel nahe unter 330° C), so daß man es für wahrscheinlich halten kann, es gebe für jeden Körper eine gewisse Temperatur, unterhalb welcher er, so gut wie Eisen, magnetisch ist, oberhalb welcher er aber diesen seinen Magnetismus verliert.

11. In Betreff der Ursache der magnetischen Phänomene läßt sich nach dem gegenwärtigen Zustande unserer Kenntnisse nichts vollkommen Gewisses aussagen, sondern man ist genöthigt, zu einer hypothetischen Erklärung seine Zuflucht zu nehmen. Die Meinungen der Physiker über diesen Gegenstand sind getheilt. Einige betrachten den Magnetismus als ein elektrisches Phänomen. Die Würdigung dieser Ansicht setzt die Kenntniß der Elektricitätslehre voraus, daher wird erst in dem folgenden Abschnitte davon gehandelt werden. Nach der Meinung anderer Physiker, die wir hier adoptiren, wird zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen die Existenz einer ungemein fei-

nen, unwägbaren (ätherischen) Flüssigkeit angenommen, welche selbst ein Gemenge aus zwei von einander verschiedenen Theilen ist, die als besondere Flüssigkeiten zu betrachten sind. Die eine dieser Flüssigkeiten mag die nördliche oder positive, die andere die südliche oder negative heißen. Keine dieser Flüssigkeiten läßt sich für sich allein darstellen, sie kommen nur mit den materiellen Theilchen der Körper verbunden vor, an welchen sie so haften, das Kräfte, die auf die Theilchen der magnetischen Flüssigkeiten einwirken, auch die Theilchen der Körper in Bewegung bringen können. Derlei Kräfte gehen nur von den Theilchen der magnetischen Flüssigkeiten selbst aus; die Theilchen, welche zu derselben Art Flüssigkeit gehören, stoßen nämlich einander ab; die Theilchen ungleichnamiger Flüssigkeiten dagegen ziehen einander an. Es wird, um aus den Principien dieses Systems die magnetischen Erscheinungen so wie sie sind ableiten zu können, vorausgesetzt, daß jeder Körper, auf welchen ein Magnet einzuwirken oder der selbst magnetische Kräfte zu äußern vermag, eben so viel von der nördlichen Flüssigkeit wie von der südlichen enthalte. Die Menge eines solchen Fluidums läßt sich nur nach der bewegenden Kraft beurtheilen, die es auszuüben vermag. Gleiche Mengen sind diejenigen, welche in gleichen Abständen von einem dritten Quantum magnetischer Flüssigkeit, auf letzteres mit gleichen Kräften wirken. So lange beide magnetischen Flüssigkeiten gleichförmig gemengt sind, findet keine Aeußerung des Magnetismus Statt, denn die Action der Theilchen des einen Fluidums wird durch die gleiche und entgegengesetzte Action der Theilchen des anderen aufgehoben. Sobald aber die Gleichförmigkeit der Mengung gestört ist, tritt der magnetische Zustand ein. Man ist jedoch genöthiget sich vorzustellen, daß die Aenderungen, welche in der Anordnung der magnetischen Flüssigkeiten vor sich gehen können, sich nicht über den Bereich der kleinsten Partikel der Körper erstrecken, an welchen die magnetischen Flüssigkeiten haften, daß also kein Uebergang dieser Flüssigkeiten von einem Körpertheile zum andern, noch viel weniger von einem Körper in einen andern möglich sey. Wird die Existenz der magnetischen Flüssigkeiten zugegeben, so ist die Gleichheit der Mengen des positiven und negativen Fluidums in jedem Körper eine nothwendige Folge des Umstandes, daß das Gewicht eines Körpers durch das Magnetisiren desselben keine Aenderung erfährt. Das Gebundenseyn der Flüssigkeiten an den Körper, worin sie sich befinden, wird dadurch bewiesen, daß ein Magnet nichts von seiner Kraft verliert, wenn man andere Körper durch ihn magnetisch macht; endlich daß die Trennung der magnetischen Flüssigkeiten bloß innerhalb eines kleinsten Körpertheilchens erfolgt, zeigt sich dadurch, daß die Theile, in die man ein magnetisirtes Stahlstück zerschneidet, jeder für sich als ein vollständiger Magnet mit zwei Polen erscheint. Die Größe eines magnetischen Elementes, d. i. des Raumes, innerhalb dessen die Trennung der magnetischen Flüssigkeiten vor sich geht, hängt von der Natur der Körper und von ihrer Temperatur ab. Die Trennung der zwei magnetischen Flüssigkeiten in einem Elemente erfolgt nicht

bei allen Körpern mit gleicher Leichtigkeit; aber je leichter diese Trennung erfolgt, desto leichter geht auch ihre Wiedervereinigung von Statten. Man nennt die Kraft, welche sich der Trennung widersetzt, Coercitivkraft; bei dem weichen Eisen ist sie gering, bei dem Stahle groß. Die Anziehung eines magnetischen Körpers gegen einen unmagnetischen wird sonach bloß dadurch bewirkt, daß die geringe Coercitivkraft des letzteren eine Sonderung der magnetischen Flüssigkeiten unter dem Einflusse des magnetischen Körpers gestattet, der unmagnetische Körper also zuerst magnetisch wird, und daher die frühere Gleichheit der entgegengesetzten Wirkungen des magnetischen auf die Flüssigkeiten des unmagnetischen jetzt nicht mehr Statt findet. Man sollte dem gemäß nicht sagen, der Magnet ziehe das Eisen an, sondern jener mache dieses zum Magnete, woraus dann die Anziehung von selbst folgt. Uebrigens wenn auch derlei Folgerungen aus den vorausgeschickten Prämissen den Charakter der Nothwendigkeit an sich tragen, darf man doch nicht vergessen, daß die Annahme magnetischer Flüssigkeiten als Grundlage des Ganzen bloße Hypothese sey, die man nur zur Erleichterung der Uebersicht der magnetischen Phänomene aufstellt. Will man den Gebrauch jeder Hypothese vermeiden, so muß man sich begnügen bei dem Satze stehen zu bleiben, daß jeder Magnet als ein Inbegriff magnetischer Theilchen von verschwindenden Dimensionen erscheint, die an entgegengesetzten Stellen entgegengesetzte Kräfte äußern, ohne sich weiter in eine Erklärung des Entstehens eines solchen Zustandes der kleinsten Theile einzulassen.

Nach der hier aufgestellten Ansicht über den inneren Verlauf der magnetischen Phänomene wird zum Magnetischwerden eines Körpers erfordert, daß er das magnetische Princip in sich enthalte, und daß es in seine zwei ungleichartigen Bestandtheile getrennt werden könne. Wenn auch ein Körper durch das gewöhnliche Verfahren nicht magnetisch wird, so darf man ihm darum das magnetische Princip noch nicht absprechen; denn seine Coercitivkraft kann ja so groß seyn, daß unsere gewöhnlichen Mittel nicht im Stande sind, die Trennung des magnetischen Princips in den magnetischen Elementen zu bewerkstelligen.

Zweites Kapitel.

Erzeugung künstlicher Magnete.

12. Obgleich ein des Magnetismus fähiger Körper schon durch bloße Lage gegen die Erde oder gegen einen Magnet, dann, wie später gewiesen wird, durch einen elektrischen Strom und vielleicht auch durch Einwirkung des Sonnenlichtes in den magnetischen Zustand, nach Maßgabe seines Coercitivvermögens vorübergehend oder dauernd versetzt werden kann, so ist doch das Streichen gerader oder krummer Stäbe aus gutem Stahle mit bereits vorhandenen künstlichen Magneten ein vorzugsweise bequemes Mittel, künstliche Magnete von beliebiger Stärke zu Stande zu bringen. Man unterscheidet hiebei, je nachdem das Streichen bloß mit einem oder gleichzeitig mit zwei Mag-

netpolen vollzogen wird, den einfachen und den Doppelstrich. Eine besondere Modification des letzteren heißt Kreisstrich. Wir werden hier zunächst diese Verfahrungsarten an geraden Stäben erläutern; krumme Stäbe, denen man in der Regel die Form eines Hufeisens mit parallelen Schenkeln gibt (Fig. 198), lassen sich nach Umständen, theils als ein Stab, theils als eine Verbindung zweier Stäbe betrachten, und gestatten sonach die Anwendung aller die geraden Stäbe betreffenden Operationen. Ein Verfahren, welches Magnetismus hervorruft, tilgt ihn wieder, wenn es im entgegengesetzten Sinne angewendet wird. Man nennt dieses das Entmagnetisiren.

13. Der einfache Strich in seiner simpelsten Form besteht darin, daß man einen Pol eines Magnetes auf das eine Ende eines geraden Stahlstabes setzt, und ihn in einem Zuge gegen das andere Ende hin und da entweder seitwärts abzieht oder über das Ende hinaus führt, ein Verfahren, das man mehrere Male wiederholen kann, indem man jedesmal den abgezogenen Pol in der Luft an seine ursprüngliche Stelle zurückbringt. Ist AB (Fig. 199) der zu magnetisirende Stab, und führt man den Nordpol eines Magnetes von A gegen B hin, so zeigt sich bei A ein Nord- und bei B ein Südpol. Dieselbe Anordnung der Pole bekommt man, wenn man bei B den Südpol des Streichmagnetes aufsetzt, und ihn gegen A führt. Wollte man den von A nach B bewegten Nordpol wieder von B nach A im Contacte mit dem Stabe zurückführen, so würde der durch den vorhergehenden Strich hervorgerufene Magnetismus wieder ganz oder zum Theile aufgehoben, oder durch einen schwachen entgegengesetzten ersetzt werden, also jedenfalls nur ein unzureichendes Resultat zum Vorschein kommen. Die Beschaffenheit der Pole nach verrichtetem Streichen erkennt man mit Hülfe einer leicht beweglichen Magnetnadel, die hier die Probenadel heißt. Man kann jedoch den einfachen Strich auch so verrichten, daß man einen Pol des Streichmagnetes auf die Mitte des zu magnetisirenden Stabes aufsetzt, ihn gegen ein Ende desselben hinführt und daselbst abzieht. Dieses Verfahren wiederholt man öfters, ohne aber je die Stange vom Ende gegen die Mitte zu streichen. Hierauf setzt man den anderen Pol des Streichmagnetes auf die Mitte des zu erzeugenden Magnetes, und streicht mit demselben gegen das andere Ende hin, ohne je einmal umgekehrt zu streichen. Da erhält nun jede Hälfte eine Polarität, welche der des aufgesetzten Poles entgegen gesetzt ist. Der einfache Strich ist nicht geeignet einem nur etwas starken Stabe so viel Magnetismus zu ertheilen, als dieser aufzunehmen vermag; und nicht selten entstehen bei ungleichförmiger Beschaffenheit des Stabes oder bei ungleichförmigem Streichen Zwischenpole oder Folgepuncte.

Der einfache Strich kann mit Vortheil in Anwendung kommen, wenn man ein Stahlblech nur an bestimmten Stellen magnetisiren will. Nimmt man einen Magnet, der an einem Ende abgerundet ist, und zeichnet mit demselben auf einem rein gescheuerten Stahlbleche Figuren, so nimmt dieses an den gestrichenen Stellen Magnetismus an,

und man kann die Figuren sogar durch aufgestreute Eisenfeile sichtbar machen, und sie bleiben es oft Monate lang. (Haldat in Zeitschr. 7. 367.)

14. Es ist nach der oben (11) entwickelten Hypothese nicht schwierig sich eine theoretische Vorstellung von dem Hergange bei dem so eben erklärten Magnetisirungsverfahren zu bilden. Wird ein Magnetpol irgendwo auf einen unmagnetischen Stahlstab aufgesetzt, so trennt er daselbst die magnetischen Flüssigkeiten in den benachbarten Körpertheilchen, zieht das mit der Wirkungsart des Poles ungleichnamige Fluidum an, stößt das gleichnamige zurück, und auf diese Weise gestaltet sich die Anordnung der magnetischen Flüssigkeiten so, als ob unter dem aufgesetzten Pole sich ein ungleichnamiger Pol des Stabes befände, zu beiden Seiten von ihm hin aber gleichnamige Pole vorhanden wären. Dieß findet man in der That mit der Probenadel, wenn der aufgesetzte Pol einem sehr kräftigen Magnete angehört, nachdem man denselben vom Stabe entfernt hat; denn so lange der Pol am Stabe haftet, waltet der Magnetismus desselben vor. Bewegt man den aufgesetzten Pol nach einer Richtung, so ändert sich die Anordnung der magnetischen Flüssigkeiten an den Stellen, die der Pol verläßt, gleichsam als ob sich die magnetischen Elemente herumdrehten, um dem Pole die Seite zuzukehren, welche von ihm angezogen wird, und die, welche er abstößt, von ihm abzuwenden. Die zuletzt bestehende Anordnung bleibt in Folge der Coercitivkraft des Stahles, und der Erfolg ist kräftiger, als wenn der Pol des Streichmagnetes bloß an einem Ende aufgesetzt worden wäre, weil die Trennung der magnetischen Flüssigkeiten in einem Stoffe von bedeutender Coercitivkraft um so schwächer ausfallen muß, je weiter die Theilchen von der trennenden Ursache entfernt stehen; kommt aber, wie es bei dem Streichen geschieht, der Magnetpol ihnen möglichst nahe, so erreicht die Scheidung der entgegengesetzten Flüssigkeiten in jedem Elemente den höchsten Grad, der unter den obwaltenden Umständen möglich ist, und es werden die gesonderten Flüssigkeiten durch die Aenderung der Stellung des Magnetpoles nur anders gestellt, ohne sich vereinigen zu können.

Wenn hier von dem Pole des Streichmagnetes so gesprochen wird, als ob die magnetisirende Kraft von ihm ausginge, so ist dieß nur eine Abkürzung der Rede. Jedenfalls ist es der gesammte Streichmagnet, der wirkt; allein hier wird nur auf die resultirende Action gesehen. Aber gerade wegen des Antheiles, den der ganze Streichmagnet an dem Erfolge hat, ist es nicht gleichgiltig, in welcher Stellung er sich bei dem Aufsetzen des Poles befindet, und es kann eine gegen die Richtung der Bewegung hin geneigte Lage einen größeren Effect herbeiführen.

15. Das Wesentliche des Doppelstriches besteht darin, daß man auf die Mitte des zu magnetisirenden Stabes die entgegengesetzten Pole zweier Magnete senkrecht, oder wie es vortheilhafter zu seyn scheint, geneigt aufstellt, und sie nach derselben (auch nach entgegengesetzter) Richtung mit starker Reibung längs jenes Stabes wieder-

holt, hin (auch zurück) führt, zuletzt aber an den Enden (oder auch in der Mitte) abhebt. Hier erhält jedes Ende des Stabes den Magnetismus, welcher jenem des ihm zuletzt beim Streichen zugeführten Poles des Streichmagnetes entgegengesetzt ist (oder mit jenem des davon zuletzt sich entfernenden Poles übereinstimmt). Es ist dabei vortheilhaft, Eisenmassen an die Enden des zu magnetisirenden Stabes zu legen, oder wohl gar starke Magnetpole, die denen, welche daselbst entstehen sollen, entgegengesetzt sind. Hoffer hat gelehrt, hiezu die allmälig wachsende Kraft der eigenen Pole der zu streichenden Stäbe zu benützen, indem man selbe durch Anker von weichem Eisen unter einander in Verbindung setzt. Um nach dieser Methode einen hufeisenförmigen Stab A (Fig. 200) zu magnetisiren, legt man ihn auf einen Tisch, bringt an die beiden Endflächen desselben den Anker B, und setzt den ebenfalls hufeisenförmigen Streichmagnet C mit jedem Pole auf einen Schenkel des Hufeisens, und zwar so nahe als möglich am Anker und in aufrechter Stellung. In dieser führt man ihn in gleichmäßigem Zuge und mit unverändertem Drucke parallel zu den Schenkeln des Hufeisens, bis über die Wölbung desselben hinaus, und wieder, ohne das Hufeisen zu berühren, zurück. Nach mehreren Strichen dieser Art hat der Stab schon das Maximum der Kraft, der er fähig ist, angenommen, und zwar hat jeder Schenkel die mit dem aufgesetzten Pole des Streichmagnetes gleichnamige Polarität. Man kann auch umgekehrt verfahren, den Streichmagnet mit beiden Polen auf die Schenkel des Hufeisens an der Wölbung aufsetzen (Fig. 201), gegen die Endflächen desselben hinstreichen, und den Streichmagnet über denselben hinausführen, wobei es gerade nicht wesentlich ist, daß der Anker vorgesetzt werde. Da erhält jeder Schenkel des Hufeisens die dem aufgesetzten Pole entgegengesetzte Polarität, und man kann daher mittelst dieser Methode den, mittelst der vorhergehenden erzeugten Magnetismus aufheben oder die Pole umkehren. Hat man zwei gerade Stäbe nach Hoffer's Methode zu magnetisiren, so verfährt man so: Man legt sie in paralleler Lage auf einen Tisch, verbindet ihre Endflächen mit zwei Ankern, und setzt einen Hufeisenmagnet mit seinen Polen in aufrechter Stellung in der Nähe eines Ankers auf die zwei Stäbe (Fig. 202). Hierauf führt man den Streichmagnet in gleichmäßigem Zuge gegen das andere Ende hin und sogar über dasselbe hinaus, führt ihn aber, ohne die Stäbe zu berühren, wieder auf die erste Stelle zurück, und wiederholt dieses Verfahren einige Male. Die Stellen, wo die Pole aufgesetzt wurden, erhalten eine dem betreffenden Pole gleichnamige Polarität. Man kann auch zwei Hufeisenmagnete auf einmal auf solche Stangen und zwar entweder beide in der Mitte der Stangen aufsetzen, oder jeden in die Nähe eines Ankers, aber immer so, daß derselbe Stab zugleich von zwei ungleichartigen Polen berührt wird. Im ersteren Falle zieht man die Magnete in entgegengesetzter Richtung gegen die Anker hin und über sie hinaus, im letzteren gegen die Mitte hin und dann quer über die Stange weg. Hat man mehrere Paare gleicher Stäbe zu magnetisiren, so kann man

deren mehrere der Länge nach an einander legen, so daß sie zwei verlängerte Stangen formiren, die sich durch Anker verbinden und so magnetisiren lassen, als hätte man es nur mit zwei Stangen zu thun. (Hoffer in Zeit. n. F. 2. 197; 3. 193.)

Der Doppelstrich ist zuerst im Jahre 1745 von Knight angewendet worden, und zwar so, daß man die zu magnetisirende Stange horizontal auf einen Tisch legt, darauf nach der Länge zwei Streichmagnete setzt, deren entgegengesetzte Pole einander fast in der Mitte des Stabes berühren, und diese Pole von einander entfernt, indem man sie in entgegengesetzter Richtung längs der Unterlage aus einander zieht. Kurze, nicht gar dicke Stäbe lassen sich auf solche Weise vollkommen magnetisiren, langen Stäben ist aber dieses Verfahren nicht gewachsen. Duhamel verbesserte es dadurch, daß er die zu magnetisirende Stange zwischen zwei Stäben aus weichem Eisen anbrachte, und die Streichmagnete unter einem Winkel von 25—30° auf sie stellte, übrigens aber sie wie Knight hin und her führte. Mitchell nahm zum Streichen nicht einzelne Magnetstäbe, sondern aus mehreren solchen bestehende Bündel, stellte zwei solche mit ihren entgegengesetzten Polen in einiger Entfernung von einander senkrecht auf den zu magnetisirenden Stab, und führte sie so gegen das eine und dann gegen das andere Ende jenes Stabes hin. Aepinus brachte an die Enden dieses Stabes die entgegengesetzten Pole zweier starken Magnete, wendete aber wie Mitchell Magnetbündel zum Streichen, jedoch nicht in senkrechter sondern in geneigter Lage an. Außer den vorgenannten ist noch Mohr's Verfahren zu erwahnen. Dieses bezieht sich unmittelbar nur auf hufeisenförmige Stäbe, kann aber leicht auf gerade angewendet werden. Es unterscheidet sich von jenem Hoffer's, wo der Streichmagnet von der Wölbung des Hufeisens gegen dessen Enden hin geführt wird, nur dadurch, daß man, bevor der Streichmagnet vom Hufeisen abgezogen wird, erst dem Hufeisen einen zweiten Anker auflegt, und dann den Magnet mit dem früher vorgesetzten Anker abzieht, so daß stets beide Hufeisen geschlossen bleiben. (Mohr in Pogg. Ann. 36. 542.) Nach Moser's vergleichenden Versuchen steht für zu magnetisirende Stäbe Mohr's Verfahren dem von Hoffer nach, beide sollen aber von dem Mitchell'schen Doppelstriche übertroffen werden. (Dove's Repertorium der Physik 2. 141.)

16. Merkwürdig ist die Veränderung, welche der Magnetismus eines geraden oder hufeisenförmigen Stahlstabes während des Streichens erleidet: Setzt man auf ein Hufeisen, dem der Anker vorgelegt ist, einen Streichmagnet, so wie Fig. 200 zeigt, so haftet der Anker augenblicklich fest, und jedes Ende hat die Polarität des darauf gesetzten Poles. Führt man den Streichmagnet gegen die Wölbung hin, so nimmt der Magnetismus jedes Schenkels ab, ohne jedoch seine Polarität zu ändern, und erlangt ein Minimum, wenn der Streichmagnet in einer gewissen Entfernung von den Endflächen steht. Hat das Hufeisen durch wiederholtes Streichen gegen die Wölbung hin das Maximum seiner Kraft erreicht, so findet man stets in der Nähe der Wölbung an jedem Schenkel einen Folgepunct. Anders ist es, wenn der Streichmagnet an der Wölbung aufgesetzt, und das Streichen von da gegen die Enden vollführt wird (Fig. 201). Da hält, wenn der Streichmagnet aufgesetzt ist, der Anker noch gar nicht fest, und man bemerkt erst ein Festhalten

desselben, wenn man mit dem Streichen gegen die Ankerflächen zu auf eine gewisse Stelle gekommen ist, und dieses Festhalten nimmt zu, so wie man den Streichmagnet von da den Enden zuführt. Zieht man den Magnet in der Nähe der Endflächen weg, so nimmt die magnetische Kraft des Hufeisens während des Wegziehens rasch ab, und ist, wenn der Streichmagnet das Hufeisen nur mehr an wenigen Puncten berührt, ganz verschwunden, so daß der Anker von selbst wegfällt, kehrt aber mit neuer Stärke augenblicklich zurück, sobald der Streichmagnet ganz weggezogen ist. Dieses Spiel der Kräfte ist das Resultat der gemeinschaftlichen Wirkung des Streichmagnets, des magnetischen Hufeisens und des Ankers. (Hoffer in Zeitschr. n. F. 2. 360.)

17. Bei dem Kreisstriche werden vier Stahlstäbe, oder zwei Stahlstäbe und zwei Eisenstäbe abwechselnd so gelegt, daß sie ein Quadrat bilden, oder auch zwei Hufeisen zu einem Oval an einander geschoben, und auf diesem zwei ungleichnamige Magnetpole, allenfalls die eines Hufeisens, mehrmal rings herum geführt. Es läßt sich dieses Verfahren sogar auf ein einzelnes Hufeisen mit vorgelegtem Anker anwenden. Man zieht die Streichpole an einer Verbindungsstelle zweier Stäbe auf beiden ab.

Wenn man mehrere Magnetstäbe durch einen Ring in der Richtung seiner Halbmesser streckt, so daß die ungleichnamigen Pole einander gerade gegenüberstehen und einen kleinen Raum zwischen sich übrig lassen; so kann man durch diesen einen Eisenstab oder einen Draht durchziehen und ihn dadurch magnetisiren. Auf diese Weise erhält derselbe nach seiner Länge so viele Pole, als man Magnetstangen angewendet hat, und jeder derselben erscheint als eine mit der Axe parallele Linie. Ein solcher Magnet ist dann ein Transversalmagnet.

18. Die Stärke eines so erzeugten Magnetes hängt bei sonst gleichen Umständen von der Kraft der Streichmagnete und von der materiellen Beschaffenheit, Homogeneität, Gestalt und Größe der zu magnetisirenden Stange ab. An und für sich kann man mit einem schwachen Streichmagnete wieder nur schwache magnetische Kräfte wecken, allein durch Verbindung schwacher Magnete, die man mit ihren gleichnamigen Polen an einander legt, gewinnt man einen stärkeren Streichmagnet, mit dem sich die vorhandenen Magnete verstärken lassen, und kann hierin beliebig weit gehen. Gerade Stäbe verbindet man mit ihren gleichnamigen Polen zu einem einzigen Bündel, und gibt ihnen durch Anlegen von Platten aus weichem Eisen mit vorstehenden Füßen (4) eine Armatur (Fig. 203). Verbindet man mehrere hufeisenförmig gebogene Stäbe, so pflegt man eine ungerade Anzahl zu nehmen, und dem mittleren die größte Länge und Dicke zu geben, die Länge und Dicke der äußeren aber stufenweise abnehmen zu lassen (Fig. 204). Eine kräftige Verbindung mehrerer einzelnen Magnete nennt man eine magnetische Batterie, auch wohl ein magnetisches Magazin.

Knight's berühmtes magnetisches Magazin, jetzt ein Eigenthum der königl. Societat zu London, besteht aus 450 Stäben, deren jeder 15 Zoll

(engl.) lang, 1 Z. breit und $\frac{1}{2}$ Z. dick ist. Es wiegt etwa 10 Centner und hat eine Tragkraft im Minimum von 100 Pfund.

19. Die Stäbe, welche zu Magneten bestimmt sind, sollen aus feinkörnigem, gleichartigen und durchaus gleichmäßig harten Stahle bestehen, und an der Oberfläche glatt gefeilt oder gar geschliffen seyn. Zu große Härte ist der Empfänglichkeit für den Magnetismus, zu geringe Härte der Dauer desselben nachtheilig. Eisenadern, Unterbrechungen der Continuität und der Gleichartigkeit benehmen dem Stahle die Empfänglichkeit für starken Magnetismus. Gut ist es, wenn die Breite eines Stabes ein Mehrfaches seiner Dicke und letztere überhaupt nicht bedeutend, jedoch auch nicht unter $\frac{1}{4}$ Z. ist. Bei Hufeisen sollen die Schenkel möglich parallel und enge an einander gebogen seyn. Der Anker soll aus weichem Eisen bestehen, der Größe des Magnetes angemessen seyn, und sich gut, wenn auch nur in einer Linie, an die Polflächen anschließen. Man hat sogar angewiesen, ihn an die Magnetenden anzuschleifen. Gerade Stangen tragen selten mehr als ihr eigenes Gewicht, Hufeisen oft das zehnfache desselben.

Magnete von einigen Granen tragen oft mehr als das 50fache ihres eigenen Gewichtes, Magnete von 1—2 Pfund kaum das Zehnfache desselben. Cavallo sah einen Magnet, der 7 Gr. wog und doch 300 Gran trug. Ein Magnet, der 3 Gr. wog, trug armirt 1032 Gran, ein anderer von 1 Gr. Gewicht trug armirt 764 Gr. Der größte der bekannten armirten Magnete befindet sich im Taylor'schen Museum; er wiegt sammt der Armatur 307 Pfd. und trägt 230 Pfd. Mohr versah einen Magnet mit einem Anker, der einerseits flach, andererseits halbcylindrisch gewölbt war. Mit der flachen Seitenwand anliegend trug er 20 Pfd., mit der gewölbten $31\frac{1}{4}$ Pfd. Nobili fand, daß zwei vollkommen gleiche Stahlstäbe, deren einer massiv, der andere der Länge nach durchbohrt, also hohl war und weniger Masse hatte als der erstere, ungleiche Kräfte durch Streichen annahmen. Im Zustande der Sättigung verhielt sich die Tragkraft des massiven Stabes zu jener des hohlen, wie 95 : 190. Es besteht zwischen der Tragkraft eines Hufeisens, das mit vorgelegtem Anker magnetisirt wurde, ein großer Unterschied ehe der Anker abgerissen wird, und nach der Trennung desselben vom Magnete. Im letzteren Falle sinkt die Tragkraft bedeutend, erhält sich aber dann auf einerlei Stufe. Um einen Magnet zu erhalten, dessen Anker sehr stark haftet, muß man mehrere Hufeisen, jedes mit seinem noch nicht weggenommenen Anker an einander legen, und sodann die Anker, bis auf den in der Mitte, wegnehmen. Nach Entfernung des letzteren sinkt die Tragkraft des zusammengesetzten Magnets auf eine constante Größe herab. Vereinigt man mehrere Hufeisenlamellen, die auf ihre constante Kraft, welche sie durch Abnehmen des Ankers nicht weiter verlieren, gebracht worden sind, z. B. drei Lamellen, und man nimmt selbe, nach Abreißen des Ankers von der mittleren, aus einander, so zeigt sich die Kraft der Mittellamelle ausnehmend geschwächt.

20. Eine besonders wichtige Anwendung findet die Erzeugung künstlicher Stahlmagnete bei der Construction der Magnetnadeln. Dieses unvergleichliche Werkzeug zeigt nicht bloß dem Schiffer zur See die Himmelsgegenden, ist bei einem bewölkten Himmel sein vorzüglich-

ster Führer, dient dem Geometer bei Messungen unter der Erde oder durch Wälder zum Winkelmesser und Führer, und leistet überhaupt die besten Dienste, wenn Gegenstände, z. B. Sonnenuhren, Meßtische ꝛc. nach bestimmten Richtungen gestellt werden sollen, sondern es ist, in Folge neuerer Fortschritte der Naturlehre, auch dem Physiker bei dem Studium der Phänomene der Elektricität und der Wärme ein unentbehrliches Hilfsmittel geworden. Man gibt einer Magnetnadel häufig die Gestalt eines vierkantigen Prisma's oder eines schmalen und verhältnißmäßig langen Rhombus. Sie wird aus Uhrfederstahl bereitet, bei der Rothglühhitze gehärtet und dann temperirt, indem man sie von der Mitte aus bis zu einem Zolle von jedem Ende anlaufen läßt, bis die blaue Farbe wieder verschwindet. Die Politur hat auf die magnetische Capacität einer solchen Nadel keinen Einfluß. Ihre Richtkraft wächst im Verhältniß ihrer Länge und Masse. Meistens unterscheidet man ihre Pole durch die Farbe, oft auch durch ihre Gestalt. Man kann Magnetnadeln auch aus Nickel, ja nach Lampadius sogar aus einer Legirung von Platin oder Gold und Nickel machen, welche vor den stählernen den Vorzug haben, daß sie nicht so leicht rosten. In manchem Falle ist eine Magnetnadel von Nutzen, welche sich nur in der Ebene des magnetischen Aequators bewegen kann, und darum astatisch heißt. Sie wird vom Erdmagnetismus nicht afficirt, und bleibt in jener Ebene in jeder Richtung stehen, wenn ihr Schwerpunct in die Drehungsaxe fällt. Ampère hat eine solche Nadel angegeben, Fig. 205 stellt sie vor; Schmidt hat sie vereinfachet (Gilb. Ann. 70. 243). Man kann sich aber auch eine Nadel verschaffen, die bei jeder Abweichung vom magnetischen Meridiane in Ruhe bleibt, und deßhalb auch astatisch genannt zu werden verdient, wenn man zwei gleich starke Magnetnadeln mit einander unveränderlich so verbindet, daß ihre ungleichnamigen Pole nach derselben Gegend hin gerichtet sind, wie Fig. 206 und Fig. 207 zeigen.

Drittes Kapitel.

Gesetze der Wirkungen magnetischer Kräfte.

21. Ein Magnet erfährt sowohl von der Erde, wie auch von einem andern Magnete, sey es nun ein bleibender, oder ein durch den Einfluß des Magnetes auf weiches Eisen erst erzeugter, eine Einwirkung, die sich nach den Regeln beurtheilen läßt, welche die Statik für die Zusammensetzung der Kräfte darbietet. Man betrachtet zu diesem Behufe den Magnet als einen Inbegriff von kleinsten magnetischen Theilchen oder Elementen, an deren jedem man zwei Hälften, oder wenn man lieber will, Puncte von entgegengesetzter Kraftäußerung gegen jeden mit Magnetismus begabten Punct, die beiden Pole des Elementes, unterscheidet, und sucht die Totalwirkung sämmtlicher entgegengesetzten, von den Elementen ausgeübten Kräfte.

22. Da das Gewicht eines Stahlstabes durch das Magnetischmachen nicht geändert wird, aber derselbe ein Bestreben bekommt, eine bestimmte Lage, nämlich jene der Inclination anzunehmen, so muß wohl die Erde auf den Stab mit zwei gleichen und nach parallelen Richtungen entgegengesetzten Kräften einwirken, denn nur so ist es möglich, daß die magnetische Erdkraft keine progressive, wohl aber eine drehende Bewegung erzeuge. Diese Kräfte sind das Resultat der gleichen und entgegengesetzten Einwirkungen der Erde auf die Pole jedes magnetischen Elementes, welchen Kräften man wegen der Größe der Dimensionen der Erde im Vergleiche gegen die uns zu Gebote stehenden Magnete, auch wenn sie zweien von einander entfernten Elementen angehören, so wie es bei Betrachtung der Schwerkraft geschieht, parallele Richtungen und für einerlei Quantitäten der magnetischen Flüssigkeiten auch gleiche Größen beilegen darf. Es seyen nun ns, $n's'$, $n''s''$ u. s. w., Fig. 208, Elemente eines Magnetes; m die Quantität des freien nördlichen Fluidums in ns, das wir der Einfachheit wegen im Puncte n concentrirt denken, und folglich die Quantität des in s vereinigten südlichen Fluidums eben so groß, welche wir daher mit $-m$ bezeichnen, und eine gleiche Bedeutung mögen auch m', m'', .. bezüglich der Elemente $n's'$, $n''s''$, .. haben. Legen wir der magnetischen Erdkraft diejenige Kraft als Einheit zum Grunde, welche auf die nach Belieben gewählte Quantitätseinheit nördlichen oder südlichen Fluidums mit der bewegenden Kraft 1 einwirkt, diejenige nämlich, welche der Masse 1, wenn an ihr das Quantum 1 an magnetischem Fluidum haftet, während der Zeit 1 die Geschwindigkeit 1 zu ertheilen vermag, und bezeichnen wir die Intensität der magnetischen Erdkraft mit P, so wirken auf die Puncte n, n', n'',... nach gewissen parallelen Richtungen nx, $n'x'$, $n''x''$,... die Kräfte $P.m$, $P.m'$, $P.m''$,... und auf s, s', s'',... nach den mit ersteren parallelen, aber in entgegengesetztem Sinne genommenen Richtungen sy, $s'y'$, $s''y''$,... Kräfte, deren numerische Werthe jenen der vorgenannten stückweise gleich sind, und die daher in Bezug auf erstere die Zeichen $-Pm$, $-Pm'$, $-Pm''$,... erhalten. Jede der beiden Gruppen der nach einerlei Gegend hin wirkenden Kräfte kann man sich in eine Resultirende vereinigt, und den von der Lage der parallelen Richtungen gegen das System der magnetischen Elemente unabhängigen Angriffspunct dieser Resultirenden (den Mittelpunct der Kräfte) gefunden denken. Somit ergeben sich statt der vorgenannten Kräfte bloß zwei ihnen der Wirkung nach äquivalente, nämlich R und $-R$, wobei $R = Pm + Pm' + Pm'' + \ldots = P(m + m' + m'' + \ldots)$ oder wenn man $m + m' + m'' + \ldots = \mu$ setzt, $R = P\mu$ ist, und die Richtungen dieser Kräfte sind denen der früheren parallel. Es seyen N und S Fig. 209 die Angriffspuncte, und NX, SY die Richtungen der Kräfte R und $-R$, so muß der Körper, wenn er sich um seinen fest gehaltenen Schwerpunct drehen kann, eine solche Lage annehmen, daß die Verbindungslinie der Puncte N und S den Richtungen der magnetischen Erdkräfte parallel lauft, und zwar wird das Gleichge-

wicht nur dann Stabilität haben, wenn die Puncte N und S so stehen, daß die Kräfte sie von einander zu entfernen streben. Die gerade Linie, welche durch die Puncte N und S geht, heißt die magnetische Axe des Körpers.

23. Obgleich die Puncte N und S als Mittelpuncte der einzelnen Gruppen anziehender und abstoßender Kräfte am Magnete völlig bestimmt sind, so läßt sich dennoch der Inbegriff der zwei im entgegengesetzten Sinne wirkenden Resultirenden auf unzählige Arten durch zwei andere ihnen parallele, einander gleiche und entgegengesetzte Kräfte ersetzen, wofern nur die Angriffspuncte dieser Kräfte in einer der vorgenannten Axe parallelen Geraden liegen, und das Product der gemeinschaftlichen Größe der Kräfte mit dem Abstande ihrer Angriffspuncte denselben Werth behält, den es früher hatte. Um die Richtigkeit dieser Behauptung zu beweisen, seyen N′, S′ zwei in einer zur NS parallelen Geraden beliebig gewählte Puncte, und O der Durchschnittspunct der sich kreuzenden Verbindungslinien NS′, SN′. Man kann in S′ und O die Kräfte R′ und U den vorgenannten parallel so angebracht denken, daß sie die in N wirkende Kraft R zur Resultirenden haben. Dazu wird erfordert, daß U dieselbe Richtung wie R habe, R′ die entgegengesetzte, und nebst der Gleichung $U = R + R'$ die Proportion $R : R' = S'O : NO$ Statt finde. Letztere gibt, weil $S'O : NO = N'S' : NS$ ist, $R : R' = N'S' : NS$, mithin $R' . N'S' = R . NS$. Aber unter denselben Bedingungen kann man die in S wirkende Kraft R durch die in N′ und O angebrachten Kräfte R′ und U ersetzen, nur müssen die Richtungen derselben denen der vorgenannten gleichnamigen Kräfte entgegengesetzt seyn. Da die einander gleichen und gerade entgegengesetzten Kräfte U, U in O einander tilgen, so bleiben nur die zwei Kräfte R′, R′ in N′ und S′ übrig, welche daher den in N und S wirkenden Kräften R, R äquivalent sind. Die Kräfte in N, N′ wirken nach einerlei, die in S, S′ wieder nach einerlei aber der ersteren entgegengesetzten Richtung, und die Bedingungsgleichung, an welche die Größen derselben gebunden sind, ist $R' . N'S' = R . NS$. Wäre $N'S' = NS$ so hätte man $R' = R$.

24. Aus dem Gesagten geht hervor, daß die magnetische Axe im Grunde als keine bestimmte in dem Magnete fir verhandene Linie, sondern nur als eine zum Magnete gehörende Richtung anzusehen ist, und daß man je zwei in einer Axe gewählte Puncte als Angriffspuncte der den magnetischen Erdkräften der Wirkung nach gleichgeltenden zwei Resultirenden, mithin als Puncte, die auf die Benennung »Pole« Anspruch machen können, betrachten darf. Setzt man den Abstand der Mittelpuncte der Kräfte, womit der Erdmagnetismus das nördliche und südliche Fluidum eines Magnetes afficirt, nämlich die Länge der Linie NS (22) gleich ρ, so ist $R\rho = P\mu\rho$ der unveränderliche Werth des Productes des gemeinschaftlichen Werthes der Resultirenden der magnetischen Erdkräfte multiplicirt mit der Distanz ihrer Angriffspuncte. Das Product $\mu\rho$, welches eine bloß von der Anordnung der Magnetismen in jedem individuellen Magnet abhän-

gende Größe ist, heißt das **magnetische Moment**, welches im Folgenden mit M bezeichnet werden soll. Zur Rechtfertigung dieser Benennung denken wir uns in der Richtung der Axe NS irgend einen festen Punct E (Fig. 210 a und b), um welchen sich diese Axe drehen läßt, und zugleich diese Axe senkrecht gegen die Richtungen der Kräfte R, R gestellt, so ist das Drehungsmoment der in N wirkenden Kraft $= R.NE$ und das Drehungsmoment der in S wirkenden $= R.SE$. Da nun nach Maßgabe der Stellung des Punctes E gegen N und S beide Kräfte entweder entgegengesetzte oder übereinstimmende Drehungen hervorzubringen streben, so geht aus ihrem Zusammenwirken das Moment $R.NE \mp R.SE$ hervor, wo das Zeichen $+$ gilt, wenn E zwischen N und S liegt (a), sonst aber das Zeichen $-$ (b). Stets aber erhält man genannte Summe $= R.NS = R\rho = P\mu\rho$. Dieses ist das größte mögliche Drehungsmoment, denn bei schiefer Richtung der Kräfte gegen die Axe fällt das Drehungsmoment nothwendig kleiner aus. Setzen wir die Größe der Kraft $P = 1$, so wird jenes Drehungsmoment $= \mu\rho = M$. Man kann sich daher immer M als das Product irgend eines Gewichtes mit einem angemessenen Hebelarm, woran es wirkt vorstellen.

25. Auf die magnetische Axe eines Körpers in dem so eben ausgesprochenen Sinne bezieht sich die genaue Bestimmung der bereits früher (6) angedeuteten Begriffe der magnetischen **Neigung** und **Abweichung** (Inclination und Declination.) Bei einem in seinem Schwerpuncte unterstützten, sonst aber nach allen Richtungen frei beweglichen Magnete nimmt die magnetische Axe eine Lage an, welche die Richtung der magnetischen Erdkraft anzeigt. Der Winkel, den sie in dieser Position mit einer horizontalen Ebene macht, ist die **Neigung**; der Winkel den eine verticale Ebene, die mit der in genannter Lage befindlichen magnetischen Axe parallel geht (der **magnetische Meridian**), mit dem astronomischen Meridian macht, ist die Abweichung. Darnach erhält auch der Begriff des **magnetischen Aequators** seine präcise Bedeutung (6). Wird ein Magnet nicht in seinem Schwerpuncte, sondern in einem andern Puncte aufgehängt, oder kann er sich bloß um eine verticale von der magnetischen verschiedene Axe drehen, so zeigt er bloß die Declination an.

Bei dünnen Stäben, die durch Längenstriche vorsichtig magnetisirt worden sind, liegt die magnetische Axe der Längenrichtung des Stabes parallel; bei cylindrischen oder prismatischen Stäben von nicht sehr geringem Querschnitte hingegen darf man sich nicht darauf verlassen, daß dieß sicher der Fall sey. In der That ändern solche Stäbe meistens ihre Ruhelage, in der sie horizontal aufgehängt schweben, wenn man selbe so umlegt, daß die Fläche, welche früher oben war, abwärts kommt, was eine Folge der Neigung der magnetischen Axe gegen die Seitenflächen des Stabes ist.

26. In dem besonderen Falle, wenn die magnetische Axe mit der verticalen Drehungsaxe des Magnetes einen rechten Winkel bildet, folglich die magnetische Axe stets in einer horizontalen Richtung zu bleiben genöthiget ist, erhält der Magnet seine Richtung lediglich durch

die horizontale Componente der magnetischen Erdkraft. Das Parallelogramm der Kräfte lehrt, daß, wenn wie oben P die Größe der magnetischen Erdkraft, T die Größe ihrer horizontalen Componente und i die Inclination bedeutet, die Gleichung $T = P \cos i$ bestehe. Denkt man sich einen so vorgerichteten Magnet, den man, in so fern er die Form eines, wenn auch massiven Stabes hat, vorzugsweise eine Declinationsnadel zu nennen pflegt, ein wenig aus seiner Ruhelage gebracht, so wird er unter dem Einflusse der Kraft T nach denselben Gesetzen, wie ein Pendel, Schwingungen machen. Die Formel für die Dauer einer Schwingung des einfachen Pendels ist $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ wenn l die Länge und g die Acceleration, oder was dasselbe ist, die Intensität der Schwerkraft anzeigt. Bedeutet für ein zusammengesetztes Pendel K das Moment der Trägheit in Bezug auf die Drehungsaxe, M das statische Moment, so hat man (292) $l = \frac{K}{M}$, mithin ist $t = \pi \sqrt{\frac{K}{gM}}$. Es ist leicht zu zeigen, daß, um diese Formel auf die Schwingungsdauer einer Declinationsnadel anzuwenden, bloß g mit T zu vertauschen, und unter K das Trägheitsmoment der Nadel, unter M ihr magnetisches Moment zu verstehen sey. Sonach hat man für die in sehr kleinen Winkeln vor sich gehenden Schwingungen einer Declinationsnadel $t = \pi \sqrt{\frac{K}{TM}}$. Diese Gleichung gibt $TM = \frac{\pi^2 K}{t^2}$, eine Formel, mit deren Hülfe man, wenn K und t bekannt sind, was sich durch Beobachtungen erzielen läßt, den Werth des Productes TM finden kann.

27. Um die Einwirkung eines Magnetes auf einen andern beurtheilen zu können, muß das Gesetz bekannt seyn, nach welchem die Theilchen der magnetischen Flüssigkeiten einander anziehen oder abstoßen. Genaue Versuche haben gelehrt, daß die Kraft, welche zwei Theilchen magnetischer Flüssigkeiten auf einander ausüben, dem Quadrate ihres Abstandes verkehrt proportionirt anzunehmen sey. Ueberdieß ist es klar, daß diese Kraft sich wie das Product der auf einander wirkenden Quantitäten der magnetischen Flüssigkeiten verhalte. Die Abhängigkeit der gegenseitigen Action der magnetischen Flüssigkeiten von der Distanz der einander anziehenden oder abstoßenden Theilchen läßt sich schon aus der Kraft entnehmen, womit ein Pol eines Magnetstabes den Pol eines andern Magnetstabes afficirt. Durch Versuche dieser Art wurde schon im Jahre 1781 Dalla Bella auf das so eben ausgesprochene Gesetz geführt; Coulomb hat dasselbe, ohne jene Arbeit zu kennen, sowohl durch Schwingungsversuche, wie auch mittelst eines besonderen Apparates, der Drehwage erkannt. Am genauesten wird aber dieses Gesetz durch die Uebereinstimmung der aus demselben fließenden Folgerungen mit den Resultaten feiner Versuche bewiesen.

28. Um das erwähnte Gesetz durch Schwingungsversuche zu

rechtfertigen, lasse man einen um eine fixe Axe beweglichen Magnetstab zuerst unter dem Einflusse des Erdmagnetismus, dann unter dem damit gleichzeitig thätigen Einflusse eines fixen Magnetpoles, den man in verschiedenen Distanzen aufstellt, schwingen. Es sey die Anzahl Schwingungen, welche der Magnetstab binnen einer festgesetzten Zeit Z unter dem alleinigen Einflusse der magnetischen Kraft vollbringt = N, und die Anzahl der Schwingungen wenn der Magnetpol zu Hülfe genommen wird = N', so erhält man, wenn T die Kraft der Erde, T + T' jene der Erde und des Magnetpoles in Verbindung vorstellt, mit Beibehaltung der obigen Bedeutungen von M und K und mit Rücksicht darauf, daß $\frac{Z}{N}$, $\frac{Z}{N'}$, die Dauer einer Schwingung in beiden Fällen angibt, nach 26, $TM = \frac{\pi^2 K N^2}{Z^2}$, $(T + T')\, M = \frac{\pi^2 K N'^2}{Z^2}$, mithin $T : T + T' = N^2 : N'^2$. Beziehen sich N'' und T'' auf eine andere Stellung des fixen Magnetpoles, so hat man eben so
$T : T + T'' = N^2 : N''^2$. Aus beiden Proportionen folgt:

$$T : T' = N^2 : N'^2 - N^2;\quad T : T'' = N^2 : N''^2 - N^2.$$

Daher hat man $T' : T'' = N'^2 - N^2 : N''^2 - N^2$.

Bei einem Oscillationsversuche hat Coulomb gefunden, daß eine Magnetnadel, die unter dem bloßen Einflusse des Erdmagnetismus in einer Minute 15 Schwingungen machte, deren in derselben Zeit 24 vollbrachte, als er ihr den ungleichnamigen Pol eines Magnets in der Ebene des magnetischen Meridians auf 8 Zoll Entfernung gegenüber hielt, und endlich 41, als diese Entfernung nur 4 Zoll betrug. Hier verhalten sich die Entfernungen wie 2 : 1, und die anziehenden Kräfte des Magnets wie $24^2 - 15^2 : 41^2 - 15^2 = 351 : 1456$, d. i. nahe wie 1 : 4.

29. Die magnetische Drehwage (Fig. 211) besteht aus einem prismatischen oder cylindrischen, horizontal schwebenden Magnete A (Magnetnadel), der mittelst eines sehr feinen elastischen Drahtes B in einem Glaskasten aufgehängt ist. Dieser Kasten hat in der Höhe, in welcher sich die Axe des Magnetes befindet, entweder eine Kreistheilung, oder eine dieselbe vertretende Chordenscale C, an der man die Größe der Ablenkung des Magnetes messen kann. Der Draht ist unten durch ein Gewicht D in Spannung erhalten, und oben am Deckel eines cylindrischen röhrenförmigen Aufsatzes E so befestigt, daß man ihn heben und senken, aber auch winden und zugleich den Torsionswinkel an einer besonderen Kreistheilung abnehmen kann. Soll dieses Instrument als Magnetometer dienen, so läßt man die Magnetnadel im magnetischen Meridiane in Ruhe kommen, ohne daß der Draht eine Torsion erleidet, bringt dann zur Seite derselben den zu untersuchenden Magnet z. B. in verticaler Stellung so an, daß er der Nadel seine feindliche Polhälfte zuwendet. Hierdurch erfolgt eine Ablenkung des Magnetes der Wage. Diese bringt man durch Winden des Metalldrahtes auf eine bestimmte Größe, z. B. auf 4°, hebt oder senkt dann den schwebenden Magnet, damit er einem anderen Querschnitte des verticalen Magnetes gegenüber zu stehen komme, und

bringt durch Auf- oder Zudrehen des Drahtes den Abstoßungswinkel wieder auf die vorige Größe. Denselben Versuch nimmt man für jeden zu prüfenden Querschnitt des verticalen Magnetes vor. Um nun aus diesen Daten Resultate ableiten zu können, muß man überlegen, welche Kräfte bei jedem Theile dieses Versuches auf die Magnetnadel wirken. Die Magnetnadel wird durch den Erdmagnetismus im magnetischen Meridiane erhalten. Wird ihr ein Magnet nahe gebracht, der sie abstoßt, so tritt sie aus dem Meridiane und wird in dieser neuen Lage von drei Kräften afficirt, nämlich von dem Erdmagnetismus, von der Kraft des feindlichen Magnetpoles und von der Elasticität des Drahtes. Vermindert man durch Drehen des Drahtes den Abstoßungswinkel, so ändert man dadurch jede der drei Kräfte, und es hält nun das Bestreben des Magnetes, vermöge des Erdmagnetismus in den magnetischen Meridian zurück zu kehren, vermehrt um das Bestreben des Drahtes sich aufzuwickeln, den abstoßenden Kräften der Magnete das Gleichgewicht. Da müssen nun vorerst die ersteren zwei Kräfte homogen gemacht werden, damit man ihre Resultirende finden könne. Dieses geschieht, indem man zu erfahren sucht, um wie viele Grade der Draht im freien Zustande gedreht werden müsse, damit sein Bestreben sich aufzudrehen, dem Bestreben des schwebenden Magnetes, aus einem bestimmten Abstoßungswinkel (in unserem Falle 4°) in den magnetischen Meridian vermöge des Erdmagnetismus zurück zu kehren, das Gleichgewicht halte. Dieses geschieht leicht, indem man, wenn die Magnetnadel sich selbst überlassen ist, und daher im magnetischen Meridiane steht, den Draht so stark dreht, bis die beabsichtigte Ablenkung vom Meridiane erfolgt. Kennt man diese Größe, so ist es leicht einzusehen, daß der gefundene Torsionswinkel, vermehrt um den Abstoßungswinkel und um die überdieß dem Drahte ertheilte Torsion, der abstoßenden Kraft der Magnete proportionirt sey.

Bei einem Versuche Coulomb's, als er an die Seite des horizontal schwebenden Magnets der Drehwage einen verticalen Magnet gestellt hatte, betrug der Abstoßungswinkel 24°, wenn der Draht gar keine Windung hatte, hingegen 17°, wenn er eine Windung von $3 \times 360 = 1080°$ hatte. Der Magnet der Drehwage konnte, vorläufigen Versuchen gemäß, durch eine Windung von 35° um 1° abgelenkt werden, mithin durch eine Torsion von $24 \times 35° = 840°$ um 24°, und durch eine Torsion von $17 \times 35° = 595°$ um 17°. Es verhielt sich also diese ablenkende Kraft beim Abstoßungswinkel 24° zu der beim Abstoßungswinkel 17° wie $24 + 840 : 17 + 1080 + 595 = 864 : 1692$ oder nahe wie $1 : 2$, während sich die Quadrate der Abstände wie $24^2 : 17^2 = 576 : 289$, oder fast wie $2 : 1$ verhielten. Etwas Aehnliches findet man für die magnetische Anziehung.

30. Die Bestimmung der Einwirkung, die aus der Gesammtaction aller Elemente eines Magnets auf die Elemente eines andern bei jeder Lage und Gestalt beider Magnete resultirt, erfordert Rechnungen, welche die Kräfte der mathematischen Anfangsgründe übersteigen. Wir müssen uns daher hier mit der Betrachtung einiger speciellen Fälle begnügen, welche jedoch sowohl zur Andeutung des Ganges des all-

gemeinen Verfahrens, als auch zu dem practischen Gebrauche hinreichen. Es sey die Kraft zu bestimmen, die ein Magnet auf ein magnetisches Elementartheilchen nördlicher oder südlicher Art in einer Entfernung ausübt, welche die Dimensionen des Magnetes viele Male übertrifft. Zur Erleichterung unserer Betrachtung setzen wir überdieß voraus, daß der Magnet ein Stab sey, dessen Länge die Abmessungen seines Querschnittes bei Weitem überwiegt. Dem gemäß sey NS (Fig. 212) der Magnetstab und zugleich die Richtung seiner magnetischen Axe, A das Theilchen magnetischer Flüssigkeit, worauf der Stab wirkt, O die Mitte des Stabes und M irgend ein Theilchen des Stabes, woran die Menge m freien magnetischen Fluidums haftet. Geben wir dem Theilchen A die magnetische Quantität 1, und sehen wir dabei diejenige Quantität als die Einheit an, welche in der Entfernung 1 einer ihr gleichen Quantität die bewegende Kraft 1 beibringt, so ist der Ausdruck der Kraft, womit das Theilchen M auf A anziehend oder abstoßend wirkt, $= \frac{m}{AM^2}$. Diese Kraft läßt sich in eine parallel zur magnetischen Axe wirkende Componente p, und in eine senkrecht darauf wirkende Componente q zerlegen. Ziehen wir AH senkrecht auf die Richtung von NS, so erhalten wir die der NS parallele Componente, wenn wir $\frac{m}{AM^2}$ mit $\frac{MH}{AM}$ multipliciren, und die auf NS senkrechte Componente durch Multiplication eben derselben Größe mit $\frac{AH}{AM}$. Daher ist $p = \frac{m.MH}{AM^3}$ und $q = \frac{m.AH}{AM^3}$. Zur Abkürzung sey $OA = a$, $OH = h$, $AH = k$, $OM = x$, so hat man:
$AM^2 = AH^2 + MH^2 = k^2 + (h-x)^2 = k^2 + h^2 - 2hx + x^2$,
oder wegen $k^2 + h^2 = a^2$, $AM^2 = a^2 - 2hx + x^2$. Wegen der Kleinheit von x gegen a kann man hier die zweite Potenz x^2 ganz vernachläßigen, oder wenigstens ohne merklichen Fehler $\frac{h^2x^2}{a^2}$ statt x^2 setzen. So wird $AM^2 = a^2 - 2hx + \frac{h^2x^2}{a^2} = \left(a - \frac{hx}{a}\right)^2$, mithin $AM = a - \frac{hx}{a}$. Mit Vernachläßigung der höheren Potenzen von x folgt hieraus $AM^3 = a^3 - 3ahx$, mithin $p = \frac{m(h-x)}{a^3 - 3ahx}$, $q = \frac{mk}{a^3 - 3ahx}$. Multiplicirt man hier Zähler und Nenner mit $a^3 + 3ahx$, und läßt die höheren Potenzen von x weg, so wird $p = \frac{mh}{a^3} + \frac{m(3h^2 - a^2)x}{a^5}$, $q = \frac{mk}{a^3} + \frac{3mhkx}{a^5}$. Rechnet man nun eben so für ein zweites, drittes Theilchen M′, M″ ꝛc. und bezeichnet die in denselben enthaltenen Quantitäten magnetischer Flüssigkeit mit m′, m″, ...; die Abstände der Theilchen von O mit x′, x″, ...; die mit NS parallelen Componenten der Actionen, die sie auf A aus-

üben, mit p', p''...; die auf NS senkrechten Componenten derselben Actionen mit q', q'',...; endlich die analogen Componenten der Totalwirkung des Magnetstabes auf A mit $\mathfrak{P}$ und $\mathfrak{Q}$, wobei entgegengesetzte Lagen von x, x', x'',..., wie auch entgegengesetzte Kräfte, durch die Zeichen + und — unterschieden werden müssen: so ist nothwendig $\mathfrak{P} = p + p' + p'' + \ldots$ und $\mathfrak{Q} = q + q' + q'' + \ldots$ Schreibt man die Werthe von p', p'',... q', q'',... nach dem durch die obigen Werthe von p und q dargebotenen Schema an, und sucht die Summen sämmtlicher gleichartigen Werthe, so findet man

$$\mathfrak{P} = \frac{h}{a^3}(m + m' + m'' + \ldots) + \frac{3h^2 - a^2}{a^5}(mx + m'x' + m''x'' + \ldots)$$

$$\mathfrak{Q} = \frac{k}{a^3}(m + m' + m'' + \ldots) + \frac{3hk}{a^5}(mx + m'x' + m''x'' + \ldots)$$

Bei dieser Rechnung muß man nördliches und südliches Fluidum, der entgegengesetzten Kräfte wegen, die sie gegen ein und dasselbe magnetische Theilchen an den Tag legen, als entgegengesetzte Größen behandeln; da nun ein Magnet eben so viel von dem einen, wie von dem andern Fluidum enthält, so ist offenbar

$$m + m' + m'' + \ldots = 0.$$

Die Summe $mx + m'x' + m''x'' + \ldots$ ist augenscheinlich der Inbegriff der Drehungsmomente, welche die magnetischen Theilchen M, M', M'',... des Stabes darbieten, wenn eine Kraft, ähnlich jener der erdmagnetischen Kraft und der Intensität nach = 1, bemüht wäre, den Stab, dessen Theile sie senkrecht gegen seine Längenrichtung afficirt, um den Punct O zu drehen; diese Summe ist sonach gerade die Größe, welche oben (24) magnetisches Moment genannt und mit M bezeichnet wurde. Dem gemäß ist

$$mx + m'x' + m''x'' + \ldots = M.$$

Hiedurch erhält man $\mathfrak{P} = \frac{(3h^2 - a^2)M}{a^5}$, $\mathfrak{Q} = \frac{3hkM}{a^5}$. Dieselben Werthe erhält man auch, wenn man nicht annimmt daß der Querschnitt des Magnetes NS gegen dessen Länge verschwindend klein sey, wofern nur die Dimensionen dieses Magnetes im Vergleich mit seiner Entfernung von A sehr klein sind.

31. Construirt man, vom Puncte A ausgehend, ein Rechteck ABDC, dessen Seiten AB, AC parallel und senkrecht gegen NS stehen, die der magnetischen Beschaffenheit von A und der Lage des Magnets NS angemessenen Richtungen haben, und der Größe nach den Werthen von $\mathfrak{P}$ und $\mathfrak{Q}$ entsprechen, so gibt die Diagonale AD dieses Rechteckes die Größe und Richtung der Totalaction an, welche das Theilchen A von dem Magnetstabe NS erfährt. Bezeichnet man die Größe dieser Totalaction durch $\mathfrak{R}$, so ist $\mathfrak{R}^2 = \mathfrak{P}^2 + \mathfrak{Q}^2$, mithin $\mathfrak{R}^2 = (9h^4 - 6a^2h^2 + a^4 + 9h^2k^2)\frac{M^2}{a^{10}}$, oder wegen

$$9h^4 + 9h^2k^2 = 9h^2(h^2 + k^2) = 9h^2a^2,$$

$$\mathfrak{R}^2 = (9a^2h^2 - 6a^2h^2 + a^4)\frac{M^2}{a^{10}} = (3h^2 + a^2)\frac{M^2}{a^8}, \text{ also } \mathfrak{R} = \frac{M}{a^3}\sqrt{1 + \frac{3h^2}{a^2}}.$$

Es sey E der Punct, worin AD mit NS zusammentrifft, so ist EH : AH = DC : AC, d. h. EH : k = $\frac{(3h^2 - a^2)M}{a^5} : \frac{3hkM}{a^5}$.
Hieraus folgt EH = $\frac{3h^2 - a^2}{3h}$ und

$$OE = OH - EH = h - \frac{3h^2 - a^2}{3h} = \frac{a^2}{3h}.$$

Errichtet man AF senkrecht auf OA, so ist OF : OA = OA : OH also OF = $\frac{a^2}{h}$. Dieß gibt OE = $\frac{1}{3}$ OF, wornach sich die Richtung der Kraft $\Re$ auf eine höchst einfache Weise finden läßt.

32. Es ist $\frac{h}{a}$ der Cosinus des Winkels AOH. Bezeichnet man diesen Winkel mit α, so nimmt obiger Ausdruck für die Größe der Kraft, womit der Magnet NS auf A einwirkt, die Gestalt

$$\Re = \frac{M}{a^3}\sqrt{1 + 3\cos\alpha^2}$$

an. Bleibt daher der Winkel α derselbe, so zeigt sich diese Kraft der dritten Potenz der Entfernung des Theilchens A vom Magnete verkehrt proportionirt. Steht das Theilchen A in derselben Distanz a vom Magnete, einmal in der Richtung der magnetischen Axe, das andere Mal in der Richtung, welche von O senkrecht gegen diese Axe ausgeht, so ist in dem ersten Falle $\alpha = 0$, also $\cos\alpha = 1$; ein anderer $\alpha = 90^\circ$, mithin $\cos\alpha = 0$, und daher in dem ersten Falle $\Re = \frac{2M}{a^3}$, und im zweiten Falle $\Re = \frac{M}{a^3}$, also gerade halb so groß, als im ersten. Aus den in 30 für P und Q gefundenen Formeln sieht man leicht, daß in beiden Fällen Q = 0 wird, mithin die Resultirende die Richtung der magnetischen Axe hat.

Die hier erhaltene einfache Beziehung zwischen den zwei Werthen von $\Re$ für $\alpha = 0$ und $\alpha = 90^\circ$ ist nothwendig an die Voraussetzung gebunden, daß die Action der Theilchen der magnetischen Flüssigkeiten dem Quadrate der Entfernung verkehrt proportionirt sey. Es ist auf dem oben betretenen Wege leicht zu zeigen, daß, wenn diese Action der $n$ten Potenz der Entfernung verkehrt proportionirt angenommen wird, die genannten zwei Werthe von $\Re$ sich wie n : 1 verhalten müssen. Dieser Umstand kann mit Hülfe des später zu erklärenden Magnetometers zur Herstellung eines Beweises benützt werden, daß in der That das Wirkungsgesetz der magnetischen Flüssigkeiten mit jenem der Schwere übereinstimmt.

33. Es sey ns (Fig. 213) die Ruhelage einer horizontalen um eine verticale Axe o frei beweglichen Magnetnadel (oder vielmehr der magnetischen Axe dieser Nadel) unter dem Einflusse des Erdmagnetismus, und es werde in einer gegen die Länge dieser Nadel großen Entfernung eine andere Nadel NS so befestiget, daß ihre, gleichfalls horizontale Richtung die Grade ns in der Mitte o senkrecht durchschneidet, so wird die erste Nadel von der ursprünglichen Ruhelage abge-

lenkt und in eine andere n's' versetzt, welche mit ns einen Winkel (den Ablenkungswinkel) non' = v bildet. Wegen der geringen Länge von ns und NS kann man die Richtungen der Kräfte, welche NS gegen sämmtliche Theilchen von ns äußert, als parallel betrachten, und daher nach den oben vorgetragenen Principien die Sache so nehmen, als ob zwei Kräfte, die sich zu einander verhalten wie die horizontale Componente T der erdmagnetischen Kraft zu der von NS herrührenden Kraft U auf einen von o verschiedenen, mit der magnetischen Quantität 1 versehenen Punct in ns z. B. auf n wirkten, und zwar die erste Kraft parallel zu ns und die zweite senkrecht dagegen. Verzeichnet man das Parallelogramm der Kräfte n'efk dessen Diagonale n'f die Richtung von s'n' haben muß, so sieht man, daß

$$\mathit{tang}\ en'f = \frac{ef}{n'f}, \text{ d. h. } \mathit{tang}\ v = \frac{U}{T}$$

ist. Nach 32 haben wir $U = \frac{2M}{a^3}$, wenn M das magnetische Moment von NS und a den Abstand der Mittelpuncte beider Stäbe bedeutet; somit ist $\mathit{tang}\ v = \frac{2M}{Ta^3}$, woraus

$$\frac{M}{T} = \tfrac{1}{2} a^3\ \mathit{tang}\ v$$

folgt. Es kann also die Ablenkung v die ein fixer Magnetstab in der bezeichneten Lage an irgend einem horizontal beweglichen Stabe hervorbringt, dazu dienen, das Verhältniß des magnetischen Moments des ersteren Stabes zur Intensität der horizontalen Componente der erdmagnetischen Kraft anzugeben. In 26 wurde gezeigt, wie man aus dem bekannten Trägheitsmomente K und aus der Dauer t einer horizontalen Schwingung eines Magnetes das Product TM finden könne. Es ist nämlich $TM = \frac{\pi^2 K}{t^2}$. Multiplicirt und dividirt man diesen Ausdruck mit dem obigen für $\frac{M}{T}$, so erhält man

$$M^2 = \frac{\pi^2 K a^3\ \mathit{tang}\ v}{2t^2} \text{ und } T^2 = \frac{2\pi^2 K}{a^3 t^2\ \mathit{tang}\ v},$$

daher hat man $M = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K a^3\ \mathit{tang}\ v}{2}}$ und $T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{2K}{a^3\ \mathit{tang}\ v}}$.

Die hier entwickelten Formeln sind bloß annäherungsweise richtig, reichen aber dort, wo es nicht auf die äußerste Schärfe ankommt, selbst bei mäßigen Werthen von a völlig zu. Die strenge Theorie findet man in der Abhandlung ihres Urhebers: Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata. Auctore Carolo Friderico Gauss. Gottingae 1833, und in Pogg. Ann. 28. 241, 591. Die Deduction dieser Formeln enthält auch Dove's Repert. 2. 159.

Bringt man die Nadel NS in der durch ns gehenden Horizontalebene in eine solche Lage, daß ihr Mittelpunct in die Verlängerung von ns fällt und beide Nadeln einen rechten Winkel bilden, und stellt man den hierauf sich beziehenden Ablenkungswinkel von ns und die Kraft der NS durch v' und U' vor, so hat man $\mathit{tang}\ v' = \frac{U'}{T}$ mithin

$\tang v : \tang v' = U : U' = 2 : 1$, d. h. $\tang v = 2 \tang v'$, oder wenn die Winkel v, v' klein sind, $v = 2v'$. Die Erfahrung bestätiget diese Gleichung und dadurch auch, daß die Action der magnetischen Elemente dem Quadrat der Entfernung verkehrt proportionirt ist.

34. Alle im Vorigen aufgestellten Untersuchungen konnten vorgenommen werden, ohne über die Art der Vertheilung der Magnetismen im Innern eines magnetischen Körpers etwas auszusagen. Welche auch immer diese Vertheilung seyn mag, so kann man, wie Gauß bewiesen hat, aus dem Grunde, daß die magnetischen Theilchen auf einander mit Kräften wirken, die dem Quadrate ihres Abstandes verkehrt proportionirt sind, genannter Vertheilung eine andere, hinsichtlich der Wirkung nach außen vollkommen äquivalente auf der Oberfläche des Magnetes substituiren, und zwar ist Letzteres, für jede individuelle Anordnung des inneren Magnetismus nur auf eine einzige Art möglich. Dagegen lassen sich unendlich viele verschiedene Vertheilungsarten der Magnetismen im Innern eines Magnets denken, aus welchen dieselbe Wirkung nach außen hervorgeht. Hieraus erhellet hinlänglich, daß alle Bemühungen über die Art der Vertheilung der magnetischen Zustände im Innern eines Körpers aus seinem Verhalten nach außen etwas Bestimmtes zu erschließen vergeblich sind. Wozu wir durch Beobachtung der Action eines Magnets auf Theilchen außer ihm mit Bestimmtheit gelangen können, ist immer nur die äquivalente Vertheilung der Magnetismen auf seiner Oberfläche. Indessen hindert dieß nicht, sich aus andern Gründen, z. B. nach der Art des Vorganges bei dem Magnetisiren eines Stabes, eine Vorstellung von der Lagerung der magnetischen Flüssigkeiten in seinen Elementen zu bilden.

35. Beobachtungen an regelmäßig gestrichenen Magnetstäben lehren, daß sie auf magnetische Theilchen in ihrer Umgebung dergestalt wirken, als ob alles magnetische Fluidum nördlicher Art auf der einen, und das südliche auf der andern Hälfte des Stabes (nach seiner Länge betrachtet) gelagert, und zwar der größte Theil dieser Flüssigkeiten an den Enden des Stabes zusammengedrängt wäre. Man kann sonach mit großer Annäherung an die Wahrheit die Sache so nehmen, als ob die Gesammtkraft beider Flüssigkeiten in zwei Puncten in der Axe des Stabes concentrirt wäre, die den Enden des Stabes sehr nahe liegen und gleichweit von denselben abstehen. Dieß sind die Puncte, welche man gewöhnlich die Pole des Stabes nennt.

36. Denkt man sich eine sehr kleine Magnetnadel in allen Entfernungen und nach allen Richtungen um einen magnetischen Körper herumgeführt, so wird dieselbe an jeder Stelle eine bestimmte Gleichgewichtslage annehmen, welche der Richtung der Resultirenden aller magnetischen Kräfte entspricht, die der Körper gegen jeden Punct der Nadel äußert. Eine Folge von Gleichgewichtslagen, welche sich ergeben, indem die Nadel so verschoben wird, daß stets der eine Pol derselben den Platz erhält, den früher der andere einnahm, stellt eine krumme Linie dar, deren Tangenten sämmtlich Gleichgewichtslagen der

Magnetnadel sind. Man nennt eine solche krumme Linie eine magnetische Curve. Jedem magnetischen Körper gehört also ein System solcher Curven, die ihn in immer mehr sich erweiternden Bögen umgeben. Eine krumme Fläche, welche sämmtliche magnetische Curven senkrecht durchschneidet, gegen die daher die Richtung der Resultirenden der magnetischen Kräfte des Körpers überall normal steht, heißt eine magnetische Gleichgewichtsfläche.

Die Gestalt der magnetischen Curven eines Stabes läßt sich sehr leicht dem Auge darstellen, wenn man den Stab mit einem Bogen Papier, dessen Dimensionen die Länge des Stabes überschreiten, bedeckt und Eisenfeile darauf streut. Die durch den Einfluß des Stabes magnetisch gewordenen Eisentheilchen hängen sich an einander, und lassen, indem sie dabei die Richtung einer kleinen Magnetnadel in ihrer Gleichgewichtslage annehmen, den Lauf der magnetischen Curven deutlich erkennen. Die Gestalt derselben stimmt mit derjenigen überein, welche sie geometrischen Betrachtungen zu Folge haben müssen, in so fern dem Stabe bloß seine beiden Pole mit entgegengesetzten, dem Quadrate der Entfernung des Punctes, worauf sie wirken, verkehrt proportionalen Kraftäußerungen substituirt werden.

37. Will man die Größe und Richtung der magnetischen Kraft, die ein Körper auf seine Umgebung auszuüben vermag, auf practischem Wege bestimmen, so geht man am zweckmäßigsten zu Werke, wenn man sich diese Kraft nach bestimmten Richtungen zerlegt denkt, und die Größen der Componenten auszumitteln sucht. So kann man bei einem Stabe die seiner Länge parallele Componente der Resultirenden seiner magnetischen Kräfte von der gegen seine Länge senkrechten Componente sondern und jede einzeln untersuchen. Man kann sich hiezu der Schwingungsversuche mit einer Probenadel bedienen, die man einmal bloß unter dem Einflusse des Erdmagnetismus, das andere Mal unter dem combinirten Einflusse des Erd- und des Stabmagnetismus oscilliren läßt (28) oder auch die Drehwage in Anwendung bringen (29). Coulomb und in der neuesten Zeit Kupfer haben Versuche dieser Art angestellt. Prüft man mit einer bloß horizontal beweglichen Magnetnadel einen langen cylindrischen oder prismatischen, gleichförmig magnetisirten Stab in Absicht auf die gegen seine Längenaxe senkrechte Componente der magnetischen Kräfte, zu welchem Behufe man den Stab in verticaler Lage auf die Nadel einwirken läßt, so findet man diese Componente in der Mitte = 0 und bei gleichem Abstande der Nadel vom Stabe, gegen die Enden hin auf einerlei Weise rasch zunehmend. In den Querschnitten, wo die Maxima der Kräfte sich einstellen, liegen die Pole. Eine Stelle, wo die erwähnte Componente = 0 erscheint, heißt überhaupt ein Indifferenzpunct. Bei einem Stabe, der ungleichförmig magnetisirt wurde, liegt der Indifferenzpunct nicht in der Mitte, und wenn der Stab mehrere Pole (Folgepuncte) hat, zeigen sich auch mehrere Indifferenzpuncte.

Verzeichnet man eine Curve, der die Enfernungen der verschiedenen Stellen am Stabe von der Mitte als Abscissen, und die darauf sich beziehenden, gegen die Axe senkrechten Kräfte in einer bestimmten, durch

die Axe geführten Ebene als Ordinaten entsprechen, so bleibt das Bildungsgesetz der Curve bei Stäben von ähnlichem Querschnitte aber verschiedener Länge dasselbe, vorausgesetzt, daß die Dimensionen des Querschnittes gegen die Länge des Stabes gering sind. Bei einem Versuche, den Coulomb über die Vertheilung der magnetischen Kraft in einem 27 Zoll langen Stahlstabe angestellt hat, ergab sich, daß die Größe dieser Kraft in den Stellen, deren Entfernung vom Nordende 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 war, durch die Zahlen 165, 90, 48, 23, 9, 6 ausgedrückt wurde. Derselbe Gelehrte fand durch Rechnung, daß die Pole dieser Stange 18 L. von jedem Ende entfernt waren. An rautenförmigen breiten Magnetstäben liegen die Pole nicht weit vom Centrum. Bei sehr kurzen Magneten befinden sich die Pole um 1/6 der Länge von jedem Ende entfernt; breite und kurze Magnete haben oft mehrere Pole, bei Ringen liegen sie nicht immer in einem Durchmesser. Bei pfeilartigen Magneten gibt es selten constante Pole. Ein bis zur Sättigung magnetisirter, an einem Ende abgerundeter Stab hat die indifferente Stelle in der Mitte; wird jenes Ende zugespitzt, so rückt der Indifferenzpunct der Spitze näher.

38. Untersucht man eine Stahlstange, nachdem man sie ein-, zwei- oder dreimal rc. mit einem Magnet gestrichen hat, so erfährt man den Zuwachs der Kraft, den sie durch jeden Strich erhält, und überzeugt sich, daß diese Zunahme mit jedem folgenden Strich geringer wird, je mehr sich der magnetische Zustand der Stange jenem der Sättigung nähert. Jede Umkehrung der Pole eines Magnetes schwächt seine Empfänglichkeit für den Magnetismus, und es ist daher ein Stab immer des stärksten Magnetismus fähig, wenn seine Pole noch nie umgekehrt worden sind. Ja selbst wenn man einem Magnet, dessen Pole umgekehrt worden sind, seine erstere Polarität wieder geben will, so ist für ihn jene Streichmethode am ausgiebigsten, durch die er zuerst magnetisirt wurde. (Quetelet in *Ann. de Chim.* 53. 148.) Uebrigens ist ein Magnet gleich nach dem Streichen, und bevor der Anker weggerissen worden ist, am stärksten, jedes Wegreißen des Ankers schwächt seine Kraft, aber desto weniger, je öfter man den Anker bereits weggerissen hat; zuletzt kommt man dahin, daß kein weiteres Wegnehmen des Ankers mehr schwächend auf die magnetische Kraft einwirkt. Weiches Eisen hält den Magnetismus stark und lange, wenn man den Anker nicht wegnimmt; das erste Wegnehmen des Ankers vernichtet aber gewöhnlich die ganze Kraft desselben. In einem Bündel gleich stark magnetisirter Stahlstäbe haben die äußeren stets eine stärkere Kraft als die inneren, und alle zusammen überhaupt eine geringere als die Summe der magnetischen Kräfte der einzelnen Stäbe war. Dieses scheint anzudeuten, daß auch in einem einzigen Stabe die magnetische Kraft von außen nach innen abnehme.

39. Schon durch die bloße Prüfung des Tragvermögens eines Magnetes, noch besser aber durch Schwingungsbeobachtungen erfährt man den Einfluß des Lichtes, der Wärme und der mechanischen Behandlung auf einen Magnet. Jede Erschütterung schwächt den Magnetismus, Schlagen und Stoßen kann denselben ganz vernichten, die Einwirkung des Lichtes soll nach Zantedeschi (Zeitschr. 1. 365)

die magnetische Kraft steigern. Die Wärme wirkt schwächend auf die Kraft selbstständiger Magnete. Schon Gilbert hat dieses erfahren, und Saussure hat, um diesen Einfluß zu erkennen, ein besonderes Instrument (Magnetometer) construirt, bei welchem ein Eisenpendel durch einen Magnet desto mehr aus der Lage, wohin es die Schwere versetzt, gebracht wird, je mehr jener darauf wirkt. Schärfere Resultate erhält man mittelst der Schwingungsmethode, wie sie Christie, Hansteen, Kupffer (*Ann. de Chim.* 30. 113) und neuestens Rieß und Moser (Pogg. Ann. 17. 403) zu diesem Behufe angewendet haben. Die Untersuchungen der letzteren haben über die Einwirkung der Wärme auf den Magnetismus zu folgenden Resultaten geführt: Man muß eine zweifache Wirkung der Wärme auf Magnete unterscheiden, die eine ist bleibend, wenn auch die Temperatur, von der sie hervorgebracht wurde, vorübergegangen ist, die andere verschwindet mit der sie erzeugenden Temperatur und kehrt mit ihr wieder zurück; erstere hängt von dem Stoffe ab, an welchen der Magnetismus gebunden ist, und ist daher im Eisen anders als im Stahl, im weichen Stahl anders als im gehärteten, die letztere geht den Magnetismus allein an, und ist von der Natur des Magnetes unabhängig; jene läßt sich nicht im Allgemeinen in Rechnung bringen, für letztere gibt es Formeln, nach denen man sie berechnet. Wird ein Magnetstäbchen aus weichem Stahl in heißes Wasser getaucht, nach dem Abkühlen untersucht, dann wieder eingetaucht, und dieses Verfahren hinter einander öfter wiederholt, so findet man seine magnetische Kraft nach jedem Eintauchen schwächer, wenn es auch weder durch Oxydation, noch auf andere Weise eine Aenderung seiner Natur erlitten hat, aber die Schwächung nimmt ab, je öfter man bereits den Versuch vorgenommen hat, und zuletzt benimmt dem Magnet ein ferneres Erhitzen nichts mehr von jener Kraft, die er im kalten Zustande besitzt. Magnetisirt man ihn abermals, bis er seine anfängliche Kraft wieder erhalten hat, so wirkt eine Erhitzung gerade wie vorher auf ihn. Stäbchen aus hartem Stahl verhalten sich ganz anders, sie verlieren durch Erhitzen mehr als weiche, haben aber nach dem vollständigen Erkalten eine stärkere Kraft als während des Erkaltens, und verlieren, wenn man sie mehrmal magnetisirt und immer wieder erhitzt, dadurch jedesmal weniger, bis sie endlich gegen jede Erhitzung ganz unempfindlich werden, und daher keiner bleibenden Einwirkung von Seite der Wärme mehr unterliegen. Bei weichem magnetisirten Eisen gibt es überhaupt keine solche bleibende Einwirkung der Wärme, und da der Magnetismus desselben kein anderer seyn kann, als jener des Stahles, und dieser eine Schwächung durch Temperaturerhöhung erleidet, so geht daraus hervor, daß durch Wärme zugleich die Empfänglichkeit des Eisens für Magnetismus erhöht wird, und daß sich im Eisen beide Wirkungen der Wärme compensiren. Viel genauer ist aber das von Weber eingeschlagene Verfahren, welches in der Beobachtung der Veränderungen der Ablenkung besteht, die ein den Temperaturänderungen ausgesetzter Magnetstab an einem andern beweglich aufge-

hängten hervorbringt. Hiezu dient vorzüglich das von Gauß angegebene, im folgenden Kapitel näher zu beschreibende Magnetometer. Nach Weber's Beobachtungen sind die Variationen des Stabmagnetismus 1) bei steigender Temperatur einem andern Gesetze unterworfen, als bei sinkender; 2) sie hängen von der Intensität des Magnetismus ab, und sind bei stärkerem Magnetismus weit geringer, als bei schwachem; 3) sie treten nicht augenblicklich im vollen Maße ein, sondern es dauert die Wirkung einer Temperaturänderung noch fort, wenn schon eine constante Temperatur vorhanden ist. (Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1837. Herausgegeben von C. F. Gauß und W. Weber. S. 38.)

Die vorübergehende Wirkung der Wärme läßt sich für cylindrische, 2 Zoll lange Stahlnadeln nach der Formel $J' = J\,(1 - 0{,}000461)\,(t' - t)\,d$, für Nadeln von 3¼ Linien und etwas darüber nach der Formel $J' = J\,(1 - 0{,}000324)\,(t' - t)\,d$ berechnen, wo J' und J die Intensitäten des Magnetismus für die Temperaturen t' und t° R., und d den Durchmesser der Nadel in Par. L. bezeichnen. Bei Kupffer's Versuchen hatte ein Magnetstab, der von 13° auf 80° R. erwärmt worden war, bei letzterer Temperatur nur etwa 0,85 der vorigen Kraft, aber selbst als er wieder auf 13° R. abgekühlt war, betrug seine Stärke nur 0,94 der ursprünglichen. Bei einer Erhöhung der Temperatur rücken die Pole dem Mittelpuncte der Stange immer näher. Etwas Aehnliches geht vor, wenn eine Eisenstange erwärmt wird, die bloß vom Erdmagnetismus afficirt wird. Erwärmt man nur die Hälfte eines Magnetes, so entfernt sich der Indifferenzpunct vom erwärmten Ende; erkältet man eine Magnethälfte, so rückt dieser Punct näher an das zugehörige Ende. Letzteres erfährt man am leichtesten, wenn man eine kleine Magnetnadel zwischen zwei in derselben Horizontalebene befindliche und auf ihrer Richtung senkrechte Magnetstangen so anbringt, daß die Nadel nicht aus dem magnetischen Meridiane verrückt wird, in welchem Falle die Indifferenzpuncte beider Magnete in die Richtung der Magnetnadel fallen. Wird nun die Hälfte einer der zwei Stangen erwärmt, so wird die Magnetnadel alsogleich abgelenkt, zum Beweise, daß der Indifferenzpunct verrückt worden ist. Die Richtung dieser Ablenkung gibt zugleich die Richtung der Bewegung des Indifferenzpunctes an. Soll ein Magnet seine Kraft möglichst unverändert beibehalten, so muß man ihn aus glashartem Stahle verfertigen, nach dem Magnetisiren mehrere Male hinter einander in etwa 40° heißes Wasser tauchen, ihn möglichst vor jeder Erschütterung sichern, und das Oxydiren desselben verhüten. Letzteres soll dadurch am leichtesten geschehen, daß man ihn in Kalkwasser liegen läßt oder in ein Tuch wickelt, das vorläufig in Kalkwasser oder in eine wässerige Glaubersalzlösung getaucht und hierauf gut getrocknet worden ist.

40. Ein Magnet sucht in jedem Körper, in dessen Nähe er kommt, die beiden Bestandtheile des magnetischen Princips von einander zu trennen und ihn selbst zu einem Magnet zu machen; aber der Erfolg dieses Bestrebens ist bei übrigens gleichen Umständen desto bedeutender, je kleiner die Coercitivkraft eines solchen Körpers ist. Darum sind Versuche über die Einwirkung verschiedener Körper auf die Richtung eines frei schwebenden Magnets oder über die Einwirkung eines Magnets auf einen anderen frei schwebenden Körper besonders geeignet, uns über

die Größe der Coercitivkraft in verschiedenen Materien und über den Einfluß äußerer Umstände auf dieselbe Aufschluß zu geben. Wenn man eiserne Stäbe nach einander in eine gewisse Lage und Entfernung gegen eine sehr bewegliche Magnetnadel bringt und die Ablenkung beobachtet, welche sie durch jeden einzelnen erleidet; so erfährt man dadurch die Größe der Einwirkung dieser Stäbe. Barlow fand auf diesem Wege, daß Stäbe von verschiedener Härte in der Richtung der magnetischen Neigung auch verschieden auf eine Magnetnadel einwirken. Nach seinen Versuchen ist die Einwirkung des Schmiedeisens am größten, hierauf folgt weicher Gußstahl, dann weicher Brennstahl, dann natürlicher weicher Stahl, hierauf derselbe gehärtet, und zuletzt Gußeisen. Es hat daher Schmiedeisen die kleinste, Gußeisen die größte Coercitivkraft, und die der übrigen liegt in der angeführten Ordnung zwischen beiden. Die Coercitivkraft ist in demselben Eisen bei verschiedenen Temperaturen verschieden, besonders bei der Weiß- und Rothglühhitze. Biegt man ein Stück Eisen hufeisenförmig, so kann man zwischen die zwei Arme desselben, die A und B heißen mögen, einen Pol eines Magnetes so stellen, daß er durch das Eisen keine Ablenkung erleidet, mithin beide Arme desselben gleich stark darauf einwirken. Erhitzt man nun das Eisen in der Nähe von B bis zum Weißglühen, so wird der Magnet von A angezogen, thut man dasselbe in der Nähe von A, so zieht B den Magnet an. Erhitzt man z. B. B bis zum Weißglühen, und hält an den hinteren Theil des Hufeisens einen Pol eines starken Magnetes, so erhält das kalte Ende A einen stärkeren Magnetismus als B, sobald aber beim Auskühlen die Temperatur von B zur Rothglühhitze herabgesunken ist, hat B die größere Kraft. (Barlow in Gilb. Annalen 73. 229. Ritchie in Pogg. Ann. 14. 150.) Hieraus kann man schließen, daß die Coercitivkraft des weißglühenden Eisens durch den Einfluß des Magnetes nicht überwältigt werde, die des rothglühenden hingegen leichter als die des kalten, mithin, daß die Weißglühhitze die Coercitivkraft steigere, die Rothglühhitze sie hingegen schwäche. Merkwürdig ist es, daß ein Stäbchen aus weichem Eisen, dessen Coercitivkraft durch zwei hinreichend entfernte Magnete, zwischen deren entgegengesetzten Polen es sich befindet, nicht überwältigt, und welches daher durch sie nicht magnetisch wird, alsogleich als Magnet erscheint, wenn es in dieser Lage durch einen harten Körper, wie durch Messing, Kupfer, Zink, Glas oder Holz der Länge nach getrieben wird.

Nach Coulomb gibt es keine Substanz, die gegen einen Magnet ganz unempfindlich ist, deren Coercitivkraft daher nicht einigermaßen davon afficirt wird; denn kleine frei schwebende Nadeln von was immer für einem organischen oder unorganischen Stoffe nehmen eine bestimmte Stellung an, wenn man sie zwischen die entgegengesetzten Pole starker Magnete bringt, und setzt man sie in Schwingungen, so werden sie auffallend durch die Magnete beschleunigt. Merkwürdig ist es, daß alle Legirungen, die Eisen enthalten, ja reines Eisen selbst, wenn es aus mehreren unregelmäßig angehäuften Bruchstücken besteht, zwischen den Polen starker Magnete eine Lage annehmen, bei welcher ihre Längen-

axen mit der Axe der Magnete einen Winkel einschließen, welches beweiset, daß sie selbst magnetisch geworden sind, daß aber ihre Pole in einer Querlinie (transversal) liegen. (Seebeck in Pogg. Ann. 10. 203. Becquerel ebend. 12. 622.)

41. Körper, deren Coercitivkraft gering ist, werden schon durch den Erdmagnetismus in einen magnetischen Zustand versetzt, sobald sie eine dazu passende Lage haben. Eine vertical stehende weiche Eisenstange hat immer unten einen Nordpol, oben einen Südpol, ja nach Hansteen ist dieses mit jedem vertical stehenden Körper, sogar mit Bäumen, Mauern rc. der Fall. In einer Masse aus weichem Eisen oder Stahl bringt das Vorhandenseyn der absichtlich durch Magnetisiren und der durch die Erde erzeugten magnetischen Kraft merkwürdige Erscheinungen hervor. An einem magnetisirten Stahlstabe ist in einer verticalen Stellung desselben der Magnetismus stets größer, wenn der Nordpol abwärts gekehrt ist, als wenn er aufwärts gerichtet ist, weil im ersten Falle die vom Erdmagnetismus erregten Pole mit den gleichnamigen, im zweiten hingegen mit den ungleichnamigen, künstlich erzeugten zusammenfallen. Besonders auffallend ist das Verhalten regulärer, z. B. sphärischer oder kubischer, vom Erdmagnetismus afficirter Körper, welches zuerst Barlow (Gilb. Ann. 73. 1) und hierauf Schmidt (ebend. 74. 225) näher untersucht haben. Nach Barlow gibt es in einer Kugel gewisse Kreise, in welchen sie auf einen Magnet gar nicht einwirkt, während sie in anderen Stellungen bald anziehend, bald abstoßend wirkt. Dasselbe findet mit Würfeln Statt. Ist z. B. SN (Fig. 214) eine horizontal schwebende Magnetnadel, C ihr Mittelpunct, I, II, III eine störende Eisenmasse in drei verschiedenen Lagen, wovon I so steht, daß der durch den Mittelpunct der Magnetnadel C gehende magnetische Aequator CD den Mittelpunct der Eisenmasse trifft. In jeder der drei Lagen ist die Eisenmasse durch den Erdmagnetismus in zwei magnetische Hälften getheilt, s ihr Südpol, n ihr Nordpol, während N der Nordpol und S der Südpol der Magnetnadel ist. s wirkt auf N anziehend und auf S abstoßend, n hingegen auf N abstoßend und auf S anziehend. Die Pole n und s wirken auf N stärker als auf S, und beide Wirkungen erfolgen zusammen eben so, als wenn N und S in C vereinigt wären. Deßhalb müssen n und s in I auf C gleich stark, aber entgegengesetzt wirken, und können keine Ablenkung der Magnetnadel hervorbringen, während in II der Pol n und in III der Pol s vorherrschend auf C wirkt, und daher dort der Nordpol der Nadel abgestoßen, hier angezogen wird. Diesem gemäß sind leicht zwei Eisenmassen denkbar, die auf eine Magnetnadel zwei gleiche und entgegengesetzte Eingriffe ausüben und sie daher gar nicht aus ihrer Lage bringen, und man wird sich vorstellen können, wie die Wirkung einer Eisenmasse auf einen Magnet durch Zugabe einer andern Eisenmasse, die eine bestimmte Stellung einnimmt, aufgehoben werden könne. Von dieser Art ist die sogenannte neutralisirende Platte, welche Barlow auf Schiffen

anbringt, um durch sie den Einfluß des Eisens auf den Compaß bei jeder Ortsveränderung des Schiffes aufzuheben.

42. Im Allgemeinen ist die Wirkung einer Eisenmasse, die ihren Magnetismus dem Einflusse eines constanten Magnetes verdankt, ein zusammengesetztes Phänomen, bestehend aus dem Complexe der Actionen sämmtlicher freien Magnetismen, sowohl in dem Magnete, als auch in der Eisenmasse. Damit ein Körper magnetische Kräfte offenbaren könne, müssen die Magnetismen seiner Elemente geschieden seyn; ein solcher Körper ist im unmagnetischen Zustande, wenn von jedem Puncte desselben gleiche und entgegengesetzte magnetische Kräfte ausgehen, deren Actionen sich wechselseitig tilgen; die Scheidung der Magnetismen bewirkt, daß nunmehr von den Puncten des Körpers nicht durchgehends gleiche und entgegengesetzte magnetische Kräfte ausgeübt werden; der Ueberschuß der einen Kraft über die andere in jedem einzelnen Puncte ist das, was wir den freien Magnetismus dieses Punctes nennen. Ein Magnet, dem ein Anker vorgelegt wird, erscheint bezüglich seiner Wirkung nach außen geschwächt, weil ein Theil seiner Action durch die entgegengesetzte Action des nunmehr mit freien Magnetismen versehenen Ankers aufgehoben wird. Hiernach erhalten die Redensarten mancher Physiker, welche von einem wechselseitigen Binden der Magnetismen und der damit zusammenhängenden Unterdrückung der Wirkungsfähigkeit nach außen sprechen, ihre wahre Deutung. Ein Gleiches gilt von dem Hemmen der magnetischen Kraft durch Körper, welche der Magnetisirung fähig sind. Ein interessantes hieher gehörendes Theorem hat Poisson durch Rechnung gefunden. Denkt man sich einen Magnet, wo immer im Innern einer durch zwei concentrische Kugelflächen begrenzten Masse weichen Eisens, so ist die Action des Magnetes und der Eisenmasse auf jeden äußeren Punct = 0. Eben so verschwindet die Action eines äußeren Magnetes bezüglich jedes Punctes im Innern der Hohlkugel.

Viertes Kapitel.

Nähere Betrachtung des Erdmagnetismus.

43. Sobald man der Magnetnadel nur einige Aufmerksamkeit widmete, mußte man die Bemerkung machen, daß die magnetische Abweichung und eben so die Neigung, nicht bloß an verschiedenen Orten der Erde verschieden sey, sondern auch an demselben Orte fortwährend Veränderungen unterliege. Da nun die Abweichung und Neigung die Richtung der erdmagnetischen Kraft bestimmen, so lag die Veränderlichkeit dieser Richtung nach Ort und Zeit vor Augen, und ein Gleiches ließ sich auch von der Größe der erdmagnetischen Kraft vermuthen. Die Aeußerung der magnetischen Kraft ist eine Eigenschaft unseres Erdkörpers, die mit der Beschaffenheit desselben in einem noth-

wendigen Zusammenhange steht; und die Kenntniß derselben ist daher eines der Elemente, aus denen sich die Kenntniß des Erdkörpers selbst zusammensetzt.

Schon dieser Umstand allein rechtfertigt das hohe Interesse, welches die Untersuchung des Erdmagnetismus längst bei den Physikern gefunden hat. Der Nutzen, mit welchem der Compaß in der Navigation, Geodäsie ꝛc. gebraucht wird, verleiht diesem Interesse noch eine allgemeinere praktische Seite. Die Unvollkommenheit der Beobachtungsmethoden entzog bis zu den letzteren Jahren manche wichtige Thatsache der Wahrnehmung; allein seitdem Gauß den Hilfsmitteln zur Bestimmung der Größen, die rücksichtlich der erdmagnetischen Kraft in Frage kommen, den Grad der Präcision zu ertheilen wußte, dessen sich die astronomischen Beobachtungen seit geraumer Zeit erfreuen, beginnt eine neue Epoche des Fortschrittes unserer Kenntniß des Erdmagnetismus, und es läßt sich bei der allgemeinen Theilnahme an diesem Gegenstande und nach den bereits erzielten Resultaten eine baldige ergiebige Ernte erwarten.

44. Die vollständige Kenntniß der erdmagnetischen Kraft an einem gegebenen Orte und in einem gegebenen Augenblicke beruht auf der Bestimmung dreier Größen, wozu man am schicklichsten die Abweichung, die Neigung und die Größe der horizontalen Componente dieser Kraft wählt. Letztere Componente werden wir der Kürze wegen mit Gauß die horizontale Intensität nennen. Wie bereits bemerkt wurde, geben die Abweichung und Neigung mit einander verbunden die Richtung der erdmagnetischen Kraft zu erkennen, die Größe dieser Kraft aber erhält man, wie an dem entsprechenden Parallelogramm der Kräfte leicht zu sehen ist, wenn man die horizontale Intensität durch den Cosinus der Neigung dividirt. Man kann sich bei den auf den Erdmagnetismus Bezug habenden Beobachtungen entweder die Angabe der Abweichung, der Neigung, der horizontalen Intensität an sich betrachtet, d. h. die Bestimmung der absoluten Werthe dieser Größen zum Ziele setzen, oder bloß die Variationen erforschen, denen die genannten Größen innerhalb eines beliebigen Zeitraumes unterworfen sind. Die Bestimmung der Variationen verdient deßhalb eine besondere Beachtung, weil sie in der Regel bei weitem leichter und schneller bewerkstelliget wird, als eine absolute Messung, die mehr Zeit erfordert, schwieriger auszuführen und daher nicht geeignet ist, die während einer kurzen Zeit an der erdmagnetischen Kraft obwaltenden Veränderungen wahrzunehmen.

45. Zur Bestimmung der absoluten Werthe der Abweichung, wie auch ihrer Veränderungen, welchem Gegenstande man stets die größte Aufmerksamkeit widmete, hat man längst eigene Instrumente, sogenannte Declinatorien construirt, die meistens complicirt gebaut und kostspielig sind. Allen bis jetzt bekannten macht das von Gauß angegebene Magnetometer den Rang streitig. Dieses besteht aus einem 1—25 Pfund schweren, an Seidenfäden oder Metalldraht hängenden Magnetstabe von 1—4 Fuß Länge und angemessener Breite und Dicke. An einem Ende dieses Stabes ist senkrecht darauf ein klei-

ner Planspiegel aufgesetzt. Der Stab befindet sich in einem Kasten, durch dessen Decke der Aufhängungsfaden geht, und der an der Seitenwand, welcher der Spiegel zugekehrt ist, eine Oeffnung hat, die etwas größer ist als jener Spiegel. Diesem gegenüber, etwa in der Entfernung von 16 Fuß befindet sich ein Theodolith, dessen Fernrohr die Axe im magnetischen Meridian hat, und auf die Mitte des Spiegels gerichtet ist. Der Theodolith steht etwas höher, als die Magnetnadel hängt, und daher muß das Fernrohr stets etwas nach abwärts geneigt seyn. Am Stativ des Theodolith befindet sich eine in Millimeter getheilte, horizontal laufende Scale, in einer auf den magnetischen Meridian senkrechten Richtung. Durch das Fernrohr sieht man im Spiegel einen Theil der Scale, und kann leicht wahrnehmen, welcher Theilstrich durch den Ocularfaden im Gesichtsfelde des Fernrohres gedeckt wird. Aendert sich die Lage des Magnetstabes, so tritt ein anderer Theilstrich unter den Ocularfaden. Der Werth des Abstandes zweier Theilstriche der Scale kann nach der bekannten Entfernung des Fernrohres und der Scale vom Spiegel im Bogenmaße gefunden werden. Von der Mitte des Objectivs hängt ein feiner, durch ein Gewicht gespannter Faden herab, und bezeichnet auf der Scale den Punct, welcher mit der optischen Axe des Fernrohres in derselben Verticalebene liegt. Hiernach erkennt man leicht, ob keine Aenderung in der Lage der Scale gegen das Fernrohr Statt gefunden habe. Zur Wahrnehmung einer etwa vorgegangenen Veränderung in der Lage des Fernrohres selbst, dient ein Strich (eine Mire) an der gegenüberstehenden Wand des Locales, worin das Instrument aufgestellt ist, den man ohne Verstellung des Oculars des Fernrohres deutlich sehen kann, und der stets mit dem Ocularfaden übereinstimmen muß. Zu dem Gebrauche des Instrumentes ist noch eine gute Uhr erforderlich. Handelt es sich um bloße Beobachtung der Aenderungen der Declination, so braucht das Locale eben nicht eisenfrei zu seyn, nur muß dafür gesorgt seyn, daß Eisenmassen, die auf die Lage des Magnetstabes einen merklichen Einfluß haben können, während der Beobachtung in ungeänderter Position verbleiben. Zu absoluten Declinationsbestimmungen aber muß jeder störende Einfluß von Körpern, die des Magnetismus fähig sind, beseitiget werden.

Eine ausführliche Beschreibung aller Theile des Magnetometers findet man in Gauß und Weber's Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1836. S. 13. Weber hat das Instrument auf kleine Dimensionen gebracht und für Reisen etc. tragbar eingerichtet (Resultate für 1838. S. 68). Auch sind bereits Abänderungen der ursprünglichen Einrichtung besonderer Localitätsverhältnisse wegen versucht worden. (Collimator, Kreil's Spiegelmire.)

46. Die continuirliche Beobachtung der Stellung des Magnetstabes in kleinen unmittelbar auf einander folgenden Zeitintervallen läßt auf die vorgefallenen Aenderungen der Abweichung, d. i. der Lage des magnetischen Meridians schließen, sobald man im Stande ist, aus den fortwährenden Schwingungen, in welchen der Magnetstab in Folge

der bereits erfahrenen Störungen sich befindet, die Stellung abzuleiten, die er in gewissen nicht weit von einander entfernten Zeitpuncten haben würde, wenn er in Ruhe wäre. Dieß ist durch ein besonderes Beobachtungsverfahren leicht zu erzielen. Man darf nämlich das Mittel aus zwei Stellungen des Stabes, die zweien genau um eine Schwingungsdauer desselben von einander abstehenden Augenblicken entsprechen, als die Lage des magnetischen Meridians für den in der Mitte zwischen die vorgenannten Augenblicke fallenden Zeitpunct ansehen. Ist also t die Schwingungsdauer des Stabes, und sind S, S' die Zahlen auf der Scale, welche am Ende der Zeiten $\theta - \frac{1}{2}t$, $\theta + \frac{1}{2}t$ vom Ocularfaden gedeckt werden, so ist $\frac{1}{2}(S + S')$ die Zahl, welche der Lage des magnetischen Meridians für das Ende der Zeit θ entspricht. Zu größerer Sicherheit können mehrere Beobachtungen, die sich auf die Zeiten $\theta - \frac{5}{2}t$, $\theta - \frac{3}{2}t$, $\theta - \frac{1}{2}t$, $\theta + \frac{1}{2}t$, $\theta + \frac{3}{2}t$, $\theta + \frac{5}{2}t$ beziehen, gemacht, aus je zwei auf einander folgenden Resultaten das Mittel genommen und der fünfte Theil der Summe dieser Mittel als eine vollkommen verläßliche Angabe der Stellung des magnetischen Meridians für das Ende der Zeit θ betrachtet werden. Die so erhaltenen Angaben für eine Reihe von Zeiten θ, θ', θ'', ... stellen die successiven Variationen der magnetischen Abweichung vor Augen. Man kann aus jeder solchen Angabe S in Scalentheilen sogleich die correspondirende absolute Abweichung D im Bogenmaße ableiten, wenn man jene Stellung des Stabes, bei welcher die magnetische Axe desselben in die durch die optische Axe des Fernrohres gehende Verticalebene fällt, und die Lage dieser Ebene gegen den magnetischen Meridian kennt. Man findet den Werth von D aus einer Formel von der Gestalt $D = a - bS$, worin a und b Zahlwerthe bedeuten, die nach den besonderen Verhältnissen des gesammten Apparates ein für allemal zu bestimmen sind, und so lange gelten, als an der Aufstellung desselben nichts geändert wird. Die Erklärung der zur Bestimmung genannter Zahlwerthe dienenden Operationen und Rechnungen überschreitet jedoch die Grenzen des vorliegenden Buches. (Resultate f. 1836. S. 34, f. 1837. S. 104.)

47. Das Magnetometer dient auch zur Ausmittelung des Werthes der horizontalen Intensität der erdmagnetischen Kraft. Zu diesem Behufe wird ein zweiter Magnetstab, Ablenkungsstab genannt, in dem Bereiche des Magnetometerstabes so aufgestellt, daß die Richtung der Längenaxe des Ablenkungsstabes auf dem magnetischen Meridian senkrecht steht, und die Axe des Magnetometerstabes halbirt, und es wird die dadurch am Magnetometer hervorgebrachte Ablenkung v, wie auch die Distanz a der Mittelpuncte beider Stäbe gemessen. Man läßt ferner den Ablenkungsstab horizontal schwingen, und beobachtet die Dauer t einer Schwingung. Endlich bestimmt man das Trägheitsmoment K desselben hinsichtlich der Schwingungsaxe. Hiernach hat man alle Daten, um nach der in 33 entwickelten Formel den Werth T der horizontalen Intensität der erdmagnetischen Kraft zu berechnen.

Das Trägheitsmoment K kann man unter Voraussetzung einer parallelepipedischen Gestalt und gleichförmigen Dichte des Ablenkungsstabes unmittelbar durch Rechnung bestimmen. Ist A die Länge, B die Breite, Q die Masse des Stabes, so ist, wie der Calcul lehrt, $K = \frac{1}{12}(A^2 + B^2)\,Q$. Will man aber der Annahme einer geometrisch richtigen Form und gleichförmigen Dichte des Magnetes kein Vertrauen schenken, so thut man besser, die Schwingungen desselben bei verschiedener Belastung zu beobachten, indem man einen Holzstab quer über den Magnet gehen läßt und in gleichen Abständen dießseits und jenseits gleiche Gewichte an den Holzstab hängt, die nur mittelst Spitzen darauf drücken. Ist q die Masse jedes der Gewichte, und sind r′, r″ die Entfernungen derselben von der Mitte des Holzstabes bei zwei verschiedenen Versuchen, t′, t″ die entsprechenden Schwingungszeiten des belasteten Magnetes, so hat man $\frac{K}{t^2} = \frac{2q\,(r'^2 - r''^2)}{t'^2 - t''^2}$, mithin $T = 2\pi \sqrt{\left(\frac{q\,(r'^2 - r''^2)}{a^3\,(t'^2 - t''^2)\,tang\,v}\right)}$. Hiebei ist noch zu bemerken, daß die Resultate genauer werden, wenn man mehrere Ablenkungsversuche bei verschiedenen Stellungen des Ablenkungsstabes macht und daraus das Mittel nimmt. Die Operationen zur Bestimmung von T lassen sich mit sehr einfachen Apparaten vornehmen; man kann sich, wie Weber gezeigt hat (Resultate des magn. Ver. für 1836. S. 63), mit einer Boussole, einem Magnetstäbchen und einem Maßstabe behelfen, und erzielt dennoch Resultate, die eine annehmbare Genauigkeit haben.

48. Um die in kleinen Zeitabschnitten vor sich gehenden Variationen der horizontalen Intensität ersichtlich zu machen, dient eine besondere Aufhängungsart eines Magnetstabes, mittelst welcher man denselben aus der Ebene des magnetischen Meridians herauszugehen und sich senkrecht gegen diese Ebene zu stellen nöthiget. Es wird nämlich der Magnet an zwei langen Fäden, oder vielmehr an einem einzigen Faden aufgehängt, dessen Enden am Stabe befestiget sind, während die Mitte des Fadens oben über zwei Cylinder geht, die nahe so weit von einander abstehen, als die unteren Aufhängepuncte. Wäre der Stab nicht magnetisch, so würden sich die Fäden so richten, daß sie eine parallele Lage bekommen; in jeder andern äußern sie eine Kraft ähnlich der Torsion, die sie in die parallele Lage zurückzuführen strebt. Je weiter die Befestigungspuncte der Fäden von einander abstehen, desto größer ist diese Kraft bei einerlei Ablenkungswinkel des Stabes. Aendert man die Stellung der Verbindungslinie der obern oder untern Befestigungspuncte gegen den Stab, und bringt durch dieses die richtende Kraft der Fäden mit dem Magnetismus des Stabes in Conflict, so hat man es in seiner Gewalt, ihm jede Lage gegen den magnetischen Meridian anzuweisen. In der senkrechten Position gegen den magnetischen Meridian wird er von einer Aenderung der Deklination ganz unmerklich, dafür aber von der geringsten Aenderung der horizontalen Intensität sehr merklich afficirt. Zur Wahrnehmung der Aenderungen der Lage des Stabes dient ein auf demselben (in der Mitte) angebrachter Spiegel, in welchem man eine entfernte Scale durch ein Fernrohr betrachtet. Dieser Apparat heißt das Bifilar-Magnetometer zum Unterschiede von dem vorhin beschriebenen, welches nunmehr das Unifilar-Magnetometer genannt wird. (Resultate für 1837. S. 1 u. 20.)

49. Zur Bestimmung der magnetischen Neigung hat man ein besonderes Instrument, welches magnetisches Inclinatorium heißt. Die Construction eines solchen Instrumentes ist bedeutenden Schwierigkeiten unterworfen, weil es sehr schwer hält, einen Magnet genau in seinem Schwerpuncte zu unterstützen und um eine horizontale Axe sehr beweglich zu machen. Indeß kann man durch ein von J. Mayer angegebenes, sehr sinnreiches Verfahren doch sehr genaue Resultate erhalten. Es beruht auf der Combination von vier Beobachtungen, die sich durch Umlegen der Nadel und Umkehrung ihrer Pole ergeben. Man kann aber auch aus der Anzahl der Schwingungen, welche dieser Magnet in einer gewissen Zeit macht, wenn er in der Ebene des magnetischen Meridians und dann in einer darauf senkrechten verticalen Ebene oscillirt, seine Neigung mit großer Schärfe bestimmen. Oscillirt nämlich eine Inclinationsnadel in der Ebene des magnetischen Meridians, so wirkt auf selbe die ganze Kraft des Erdmagnetismus $= P$; geschehen aber die Oscillationen in einer darauf senkrechten (verticalen) Ebene, so bewegt sie nur der vertical wirkende Theil des Erdmagnetismus. Ist I die magnetische Neigung, so ist letztere Kraft $P \sin I$. Werden in einer gewissen Zeit in ersterer Ebene N, in der zweiten n Oscillationen gemacht, so hat man

$$N^2 : n^2 = P : P \sin I, \text{ und daher } \sin I = \frac{n^2}{N^2}.$$

Auch die Variationen der Inclination lassen sich mittelst eines um eine horizontale, auf den magnetischen Meridian senkrechte Axe leicht drehbaren Magnetstabes beobachten, wenn dafür gesorgt wird, die geringsten Aenderungen seiner Stellung ersichtlich zu machen, wozu gleichfalls ein am Magnetstabe befestigter Spiegel dienen kann, der das von einer entfernten Scale kommende Licht in das Fernrohr des Beobachters sendet. Einen Apparat dieser Art hat Kreil angegeben. Resultate für 1839. S. 95, und: Magnetische und meteorologische Beobachtungen zu Prag 2c. auf öffentliche Kosten herausgegeben von K. Kreil. Erster Jahrgang. Prag, 1841. S. 24, in welchem Werke man auch über die Einrichtung und den Gebrauch der andern, auf die erdmagnetische Kraft sich beziehenden Meßapparate viel Lehrreiches findet.

50. Die Aenderungen, welchen die Richtung und Größe der erdmagnetischen Kraft und daher auch die Bestimmungsstücke derselben unterliegen, kann man in regelmäßige und unregelmäßige eintheilen. Die ersteren, welche einem Gesetze unterliegen, mithin, wenn dieses durch Beobachtungen festgestellt worden ist, sich vorhersagen lassen, zerfallen wieder in seculäre, die erst nach einer langen Zeit in die Augen fallen, wenngleich sie endlich sehr beträchtlich werden, und in periodische, welche innerhalb gewisser Grenzen in bestimmten Zeitabschnitten hin und her schwanken. Diese letzteren zeigen einen auffallenden Zusammenhang mit der Stellung der Sonne und des Mondes gegen die Erde, weßwegen man eine tägliche und eine jährliche Periode der Aenderungen des Erdmagnetismus in Betrachtung ziehen kann. Die so eben erwähnten regelmäßigen Va-

riationen erscheinen aber nicht fortwährend in ihrer Reinheit, sondern es treten häufig kleine, manchmal aber auch sehr bedeutende Abweichungen von der Regel ein. Man nennt sie unregelmäßige Variationen oder *Störungen* der erdmagnetischen Kraft.

51. Da man unter den Bestimmungsstücken der erdmagnetischen Kraft der Abweichung der Magnetnadel die meiste Aufmerksamkeit widmete, so sind auch die *seculären* Aenderungen derselben besser bekannt, als jene der Neigung, für welche man nur dürftige Daten besitzt. Die Intensität des Erdmagnetismus wurde bis zur neuesten Zeit fast gar nicht untersucht. Die ersten Wahrnehmungen einer Aenderung der Abweichung fallen in das sechzehnte Jahrhundert, doch hat man erst in der ersten Hälfte des siebzehnten das Vorhandenseyn derselben mit Bestimmtheit erkannt. In Europa war die Abweichung des Nordpoles der Magnetnadel vom astronomischen Meridian im sechzehnten Jahrhundert östlich; die Nadel näherte sich von da an fortwährend der Mittagslinie, und die Abweichung ging sodann in eine westliche über, die bis zu einem Maximum zunahm, hierauf aber wieder abnahm. Diese Abnahme der westlichen Declination dauert in unseren Tagen fort; es ist daher mit Grund zu erwarten, der magnetische Meridian werde mit dem astronomischen wieder zusammenfallen und hierauf die Abweichung des Nordpoles der Nadel eine östliche werden, so daß der magnetische Meridian zu beiden Seiten des astronomischen Schwingungen von sehr großer Dauer macht. Zum Beleg des Gesagten mag der Gang der Declination zu Paris dienen. Der mittlere Werth derselben war im Jahre 1580: 11° 30′ östlich, im J. 1610: 8°, im J. 1663: 0°. Damals fiel also der magnetische Meridian mit dem astronomischen zusammen. Im J. 1700 betrug die Abweichung schon 8° 10′ westlich, im J. 1780: 19° 55, im J. 1814: 22° 34′, womit sie ihr Maximum erreichte; von da an wandte sich die Magnetnadel wieder in einem langsamen Gange gegen Osten und im J. 1835 war die westliche Abweichung auf 22° 4′ gesunken. So viel man über den Gang der magnetischen Neigung weiß, so nimmt dieselbe gegenwärtig in Europa ab. Nach *Hansteen* betrug die jährliche Abnahme um das Jahr 1780: 5′—6′; im J. 1830 aber nur 3′. Es dürfte daher die Neigung gegen das Ende dieses Jahrhunderts ihren kleinsten Werth erreichen.

52. Daß die Abweichung der Magnetnadel einer täglichen Aenderung unterliegt, weiß man seit 1683; daß sie ihren Stand sogar von Stunde zu Stunde ändert, hat zuerst *Graham*, Mechaniker zu London, im Jahre 1722 entdeckt. Seitdem, besonders in neuerer Zeit, ist der Ganz der *täglichen Declinations-Variationen* vielfach untersucht worden, und man hat ihre Gesetze, und in dem Inbegriffe ihrer Erscheinungen auch ihre *jährliche* Periode mit Bestimmtheit erkannt. Der Erfahrung gemäß bewegt sich der Nordpol einer empfindlichen Magnetnadel den Tag über ein oder mehrere Male von einem östlichen Stande (für unsere Gegenden, wo die Abweichung eine westliche ist) dem *Minimum der Declination*,

zu einem westlichen Stande, dem Declinations-Maximum. Die Maxima und Minima befolgen eine feste Regel; sie treten nämlich zu gewissen Stunden des Tages ein, oder es ändern sich wenigstens die Zeiten derselben innerhalb festgesetzter Grenzen nur allmälig, und es sind diese Zeiten für verschiedene selbst bedeutend von einander entfernte Orte dieselben, woraus folgt, daß der Anfang einer Oscillation des magnetischen Meridians mit der Sonne fortrücke. Dieß vorausgesetzt, kann die an einem Orte gemachte Erfahrung ein Bild von den Vorgängen an andern Orten geben. Deßhalb wollen wir hier die Ergebnisse der vollständigsten bis jetzt durchgeführten Beobachtungsreihe mittheilen, nämlich jener, welche Kreil zu Prag vom 1. Juli 1839 bis letzten Juli 1840 angestellt hat, innerhalb welcher Zeit an einem sehr genauen Apparate mit wenigen Ausnahmen die Abweichungsnadel stündlich beobachtet wurde. Diese Beobachtungsreihe bestätiget nicht nur schon früher bekannte Thatsachen, sondern ertheilt auch über manches vordem nur unvollkommen Wahrgenommene bestimmte Aufklärung. Folgende Sätze können als gehörig begründet angesehen werden: 1) Man muß die Variationen der Declination in den Wintermonaten von jenen der Sommermonate unterscheiden. In den ersteren ergeben sich zwei Maxima und Minima, in den letzteren aber nur ein Maximum und ein Minimum. 2) Durch das ganze Jahr hindurch zeigt sich um 1 Uhr Nachmittag ein Maximum der Declination, welches, wenn ein zweites tägliches Maximum Statt hat, das größere ist. Der Nordpol der Nadel hat also um 1 Uhr den westlichsten Stand. Von da an bewegt sich die Nadel gegen Osten. 3) In den Wintermonaten erreicht die Declination in den spätern Abendstunden ein Minimum, hierauf in den Stunden nach Mitternacht ein zweites Maximum, endlich zwischen 8 und 9 Uhr Morgens das zweite Minimum. 4) Im Sommer findet das Minimum um 6 Uhr Morgens Statt. 5) Die Amplitude der Oscillation ist im Sommer nahe dreimal so groß als im Winter. 6) Um 10 Uhr Vormittags und von 6—8 Uhr Abends entfernt sich die Declination sehr wenig von dem für diese Stunde geltenden Jahresmittel. 7) Die von Kreil früher zu Mailand gemachte Bemerkung, daß die Declination nicht bloß vom Sonnen-, sondern auch vom Mondesstande abhänge, wird durch die Prager Beobachtungen bestätiget. Diesem gemäß herrscht auf der Mondeshälfte, welche der Erde zugekehrt ist, der Nordmagnetismus vor, so daß der Südpol einer Magnetnadel vom Monde angezogen wird. Die Declination ist also größer, wenn der Mond östlich vom magnetischen Meridian steht, als wenn er sich westlich davon befindet. (S. das oben angeführte Werk: Magnetische und meteorologische Beobachtungen zu Prag 2c. S. 59)

53. In Betreff der periodischen Variationen der Inclination ist bisher nur von Kreil eine über einen größeren Zeitraum sich erstreckende Reihe von Beobachtungen unternommen worden, bei der die Zeitintervalle zwischen je zweien dennoch von solcher Kleinheit sind, daß daraus der Gang dieser Variationen während eines Tages mit

Sicherheit entnommen werden kann. Es sind dieß stündliche Inclinationsbeobachtungen, welche zu Prag angestellt werden, wovon die Resultate vom 1. Juli 1839 bis 31. Juli 1840 vorliegen. Sie lehren, daß die Inclination in der Regel täglich zu einem dreifachen Maximum und einem eben so vielfachen Minimum gelange. Es erreicht die Inclination ihr erstes Maximum im Sommer zwischen 8 und 9 Uhr, im Winter zwischen 10 und 11 Uhr Vormittags; um Mittag tritt das erste Minimum ein; das zweite Maximum findet durch das ganze Jahr um 3 Uhr Nachmittag, das zweite Minimum in den späteren Abendstunden Statt; um oder nach Mitternacht tritt das dritte Maximum ein, das in manchen Monaten die beiden andern übersteigt, und hierauf in den Morgenstunden das dritte Minimum. (S. Beobachtungen zu Prag., S. 78.)

54. Ueber die periodischen Variationen, sowohl der horizontalen Intensität, als auch der magnetischen Totalkraft hat gleichfalls Kreil eine belehrende Reihe von Beobachtungen bekannt gemacht. Dreijährige Beobachtungen über den ersten Gegenstand zu Mailand, und dann die Beobachtungen zu Prag über beide lehren Folgendes: Die horizontale Componente der erdmagnetischen Kraft zeigt eine tägliche Variation mit einem Minimum und einem Maximum. Ersteres tritt im Sommer um 10 Uhr Vormittags, letzteres um 8 Uhr Abends ein; im Winter erfolgen diese Extreme etwas später. Die Intensität der Totalkraft gelangt in den ersten Morgenstunden zu einem Maximum, Nachmittag zu einem Minimum, worauf Abends um 8 Uhr ein zweites Maximum zu folgen scheint. Doch bedarf der letztere Punct noch fernerer Untersuchung. An dem Gange der Variationen der horizontalen Intensität läßt sich auch der Einfluß des Mondes deutlich erkennen.

Ueber die periodischen Variationen der Declination, Inclination, Intensität an weit entlegenen Orten und insbesondere auf der südlichen Halbkugel läßt sich aus Mangel zureichender Beobachtungen im gegenwärtigen Augenblicke nur wenig Verläßliches sagen. Man nimmt an, daß die täglichen Bewegungen der Magnetnadel auf der südlichen Hemisphäre jenen auf der nördlichen entgegengesetzt seyen. Im Allgemeinen wachsen die Variationen gegen die Pole hin, und zeigen sich am Aequator am geringsten. Es läßt sich mit Grund erwarten, daß die Ergebnisse der englischen Expeditionen binnen wenigen Jahren über diesen Gegenstand vielfache Aufschlüsse ertheilen werden.

55. Die im Vorhergehenden betrachteten regelmäßigen Aenderungen der Bestimmungsstücke der erdmagnetischen Kraft sind häufig mit unregelmäßigen Aenderungen, sogenannten Störungen verknüpft, welche, wenn die Beobachtungen sich nicht über einen größeren Zeitraum erstrecken, erstere Variationen ganz unkenntlich machen können. Derlei Störungen mögen zum Theile wohl localen Ursachen zuzuschreiben seyn, allein die von Gauß zuerst ins Werk gesetzten Beobachtungen mit dem Unifilar- und Bifilarmagnetometer geben zu erkennen, daß den meisten Störungen Ursachen zum Grunde liegen, die einen großen Theil der Erdfläche afficiren. Stellt man die Variatio-

nen der Declination graphisch dar, indem man die Zeit als Abscisse, die Aenderung der Declination als Ordinate einer krummen Linie betrachtet, so stimmen die Curven, welche eine Reihe gleichzeitiger in kleinen Zeitintervallen gemachten Beobachtungen an entfernten Orten, als Göttingen und Mailand darlegen, nicht bloß der Hauptform nach auf eine überraschende Weise mit einander überein, sondern selbst kleine Biegungen der einen Curve lassen sich in der andern wieder erkennen. Ein Gleiches gilt von den Variationen der horizontalen Intensität.

Die erste Wahrnehmung der wunderbaren Harmonie der Declinationsbeobachtungen wurde im Jahre 1834 an den Resultaten von Beobachtungen gemacht, welche zu Göttingen und auf Verabredung gleichzeitig an andern Orten in Deutschland mit Gauß'schen Apparaten angestellt wurden, und bei welchen die Zeitintervalle, welche die einzelnen Aufzeichnungen des Standes der Nadel trennten, möglichst klein waren. Seitdem wird an vielen Orten zu bestimmten Zeiten (Terminen), gegenwärtig viermal im Jahre, durch 24 Stunden von 5 zu 5 Minuten sowohl der Gang der Declination, wie auch jener der horizontalen Intensität beobachtet. Die Termine endigen am letzten Sonnabend der Monate Februar, Mai, August, November Abends 10 Uhr nach mittlerer Göttinger Zeit. Auf diese Art besteht gleichsam ein magnetischer Verein, dessen Centralpunct Göttingen ist. Da dieselben Termine auch von den Beobachtern eingehalten werden, welche die großbrittannische Regierung an verschiedene Puncte der Erde zu umfassenden, während der Jahre 1840, 1841, 1842 anzustellenden magnetischen Beobachtungen ausgesendet hat, und eine bedeutende Anzahl europäischer Gelehrten die übrigen den englischen Beobachtern vorgezeichneten Termine einhält, so wird die Kenntniß der Gesetze des Erdmagnetismus bald bedeutend vervollkommt werden.

Die Gleichzeitigkeit magnetischer Störungen mit Nordlichtern, Erdbeben rc. läßt auf den Zusammenhang dieser Erscheinungen schließen. Sehr beachtenswerth ist die von Kreil gemachte Wahrnehmung, daß bedeutende Störungen an denselben Jahrestagen wiederkehren.

56. Der Inbegriff der Bestimmungsstücke der Richtung und Größe der erdmagnetischen Kraft an allen Puncten der Erdfläche in irgend einem Zeitpuncte charakterisirt den magnetischen Zustand unseres Erdkörpers in diesem Zeitpuncte. Wenn es sich darum handelt, ein vollkommen richtiges Bild des genannten Zustandes zu geben, müssen die erwähnten Bestimmungsstücke von den an ihnen in Folge der periodischen Variationen und der Störungen haftenden Anomalien befreit, d. h. sie müssen auf ihre mittleren Werthe reducirt seyn. Man ist gewohnt, um der Darstellung der magnetischen Kraftäußerung der Erde eine faßliche Form zu verleihen, jedes Bestimmungsstück der magnetischen Kraft abgesondert zu betrachten und dabei so vorzugehen, daß man auf einer Abbildung (Karte) entweder der ganzen Erdfläche, oder eines Theiles derselben ein System krummer Linien verzeichnet, für deren jede einzelne in allen ihren Puncten dieses Bestimmungsstück constant ist, d. h. durchgehends denselben Werth hat, während dieser Werth bei dem Uebergange von einer Curve zur nächsten sich stufenweise ändert. Eine Linie auf der Erdfläche, in deren Puncten einerlei Declination Statt findet, heißt eine isogonische; eine Linie

gleicher Inclination wird eine isoclinische, eine Linie gleicher Intensität der erdmagnetischen Kraft eine isodynamische genannt. Für die Declination besitzt man seit längerer Zeit Karten, auf welchen die isogonischen Linien, so gut es nach den vorhandenen Daten der Beobachtung möglich war, verzeichnet sind. Die erste solche Karte gab Halley für das Jahr 1700. Die Vergleichung derselben mit den in der Folge von Hansteen für 1800 und Barlow für 1830 gegebenen, läßt den bedeutenden Einfluß der seculären Aenderung des Erdmagnetismus auf die Anordnung der isogonischen Linien deutlich erkennen. Um die Construction der Inclinationskarten haben sich vornehmlich Hansteen und Horner verdient gemacht. Eine Intensitätskarte wurde von Sabine construirt. Die Beobachtungen lassen schließen, daß es auf der Erdfläche einzelne Puncte gebe, in welchen die Inclination 90° beträgt, d. i. die horizontale Intensität verschwindet, mithin die Axe eines in seinem Schwerpuncte aufgehängten Magnetes vertical steht. Man nennt solche Puncte magnetische Erdpole. Die Linie, welche die Orte, wo die Neigung = 0 ist, verbindet, heißt der magnetische Erdäquator.

57. Da die bloße empirische Zusammenstellung der Daten der Beobachtung nicht genügen kann, so suchte man den magnetischen Zustand der Erde auf einen allgemeinen Ausdruck, und mit dessen Hülfe auf Formeln zurückzuführen, welche, nachdem man gewissen Bestimmungsstücken derselben ihre Werthe angewiesen hat, die Richtung und Größe der erdmagnetischen Kraft für jeden Ort mit hinreichender Näherung darbieten. Zu diesem Zwecke bemühte man sich, eine fingirte Vertheilung des Magnetismus im Innern der Erde zu ersinnen, die der wirklich vorhandenen dem Effecte nach äquivalent wäre. So suchte T. Mayer den magnetischen Zustand der Erde durch die Annahme eines, Hansteen durch die Annahme zweier sehr kleinen Magnete im Innern der Erde darzustellen, anderer ähnlichen Versuche nicht zu gedenken. Allen diesen Bestrebungen hat die neuestens von Gauß entwickelte Theorie des Erdmagnetismus (Resultate d. magn. Ver. für 1838. S. 1) ein Ende gemacht. Es lassen sich nämlich aus der bloßen Annahme der Scheidung der magnetischen Flüssigkeiten in den Theilchen der Erde Gesetze ableiten, welchen die wie immer gewählten Bestimmungsstücke der erdmagnetischen Kraft für jeden Ort der Erdfläche (im Allgemeinen für jeden Punct des äußeren Raumes) Genüge leisten müssen. Diese Gesetze führen auf Reihen für die Componenten der erdmagnetischen Kraft, die nach trigonometrischen Functionen der geographischen Länge und Breite fortschreiten, und die Resultate um so genauer geben, je mehrere ihrer Glieder man in Rechnung zieht. Durch eben so viele Daten der Beobachtung, als verschiedene constante Größen auf die numerischen Werthe der Coefficienten der Glieder Einfluß haben, werden diese Coefficienten bestimmt, und darnach lassen sich die Werthe der Componenten der erdmagnetischen Kraft an jedem Orte der Erdfläche berechnen. Nimmt man noch mehrere Daten zu Hilfe, so lassen sich die plausibelsten Werthe der Coefficienten nach eigenen

Rechnungsmethoden (I. 5. Anm.) finden. Gauß hat dieß nach zuverläßigen Daten wirklich geleistet, und zugleich die Construction von Karten veranlaßt, welche den magnetischen Zustand der Erde, wie er dem Jahre 1830 entspricht, mit großer Annäherung an die Wahrheit vor Augen legen (Atlas des Erdmagnetismus; von C. Fr. Gauß und W. Weber. Leipzig, 1840). Folgendes enthält die wichtigsten Resultate dieser Untersuchungen: Es gibt auf der Erde nur zwei magnetische Pole oder Puncte, wo die horizontale Intensität gleich Null ist. Der eine liegt im Norden von Amerika, der andere im Süden von Van-Diemensland. Die gerade Linie, welche diese Puncte mit einander verbindet, ist ganz ohne Bedeutung, und es wäre unpassend, dieselbe mit dem Namen magnetische Axe zu belegen. Auf diese Benennung kann bloß eine Gerade Anspruch machen, hinsichtlich welcher das magnetische Moment der Erde ein Maximum ist. Eine solche Gerade ist aber keine fixe, sondern jede einer gewissen Richtung parallele Linie (24). Die Verbindungslinie der magnetischen Erdpole weicht von dieser Richtung etwas ab. Gauß findet das magnetische Moment der Erde 8464 trillionenmal größer, als das Moment eines einpfündigen, bei seinen Versuchen gebrauchten Magnetstabes, woraus er den Schluß zieht, daß 8464 Trillionen solcher Stäbe mit parallelen magnetischen Axen erforderlich wären, um die magnetische Wirkung der Erde im äußeren Raume zu ersetzen, was bei einer gleichförmigen Vertheilung durch den ganzen körperlichen Raum der Erde beinahe acht Stäbe (genauer 7,831) auf jeden Kubikmeter beträgt, so daß durchschnittlich jedem Achtel eines Kubikmeter der Erde eine eben so starke Magnetisirung zukommt, als die jenes einpfündigen Magnetstabes. Mit den magnetischen Polen der Erde sind die Puncte, wo die Wirkung des Erdmagnetismus einen Maximum-Werth hat, daher größer ist, als in jedem Puncte der Umgebung, nicht zu verwechseln. Puncte der letztern Art gibt es auf der Erdfläche drei, deren einer in die Nachbarschaft des nördlichen magnetischen Poles in Nordamerika, der zweite in die Gegend von Sibirien, wo Hansteen einen zweiten Pol vermuthete, der dritte südlich von Van-Diemensland in die Nähe des südlichen Erdpoles fällt. Die Werthe der Intensität des Magnetismus in diesen drei Puncten sind 6,1614; 5,9113; 7,8982. Außer diesen gibt es zwei Puncte der kleinsten magnetischen Intensität. Sie liegen in der Nähe des Aequators, der eine nordöstlich von Neuholland, der andere in der Nähe von St. Helena, und es entsprechen denselben die Intensitäten 3,2481 und 2,8281; diese ist also die kleinste Intensität, welche auf der Erde vorkommt. Denkt man sich eine der magnetischen Wirkung der Erde äquivalente Vertheilung von Magnetismus auf ihrer Oberfläche, so wird der Magnetismus an drei Stellen, nahe bei jenen, wo die Intensität einen Maximumwerth besitzt, am meisten angehäuft seyn. Linien ohne Abweichung (in deren Puncten die Magnetnadel die Lage der Mittagslinie hat) gibt es auf der Erdfläche zwei; eine größere, die durch die magnetischen Erdpole geht, und die Erde einem Meridian ähnlich umzieht. Sie durchschneidet den

östlichen Theil von Nord- und Südamerika, dann Neuholland, Arabien, Persien, Rußland; eine kleinere Linie ohne Abweichung bildet ein Oval und läuft durch Ostsibirien, China und das angrenzende Meer. Die größere Linie ohne Abweichung zerfällt in vier Partien, in den Puncten zweier Partien zeigt der Nordpol der Magnetnadel nach Norden, und in den Puncten der beiden andern findet das Umgekehrte Statt. In der kleineren Linie ohne Abweichung zeigt der Nordpol der Magnetnadel überall nach Norden. Diesseits und jenseits einer Linie ohne Abweichung hat die Declination das entgegengesetzte Zeichen. In zwei getrennten Theilen der Erdfläche ist die Declination westlich; der größere Theil wird von der ersten, der kleinere von der zweiten der so eben beschriebenen Linien ohne Abweichung umgrenzt. Zwischen beiden Linien liegt der Theil der Erdfläche, dem eine östliche Declination der Magnetnadel entspricht. Die Linie verschwindender Inclination (der magnetische Aequator) scheidet die Erdfläche in zwei Theile, in deren einem der Nordpol, im andern der Südpol der Nadel sich abwärts senkt. Der magnetische Aequator durchkreuzt den astronomischen Aequator der Erde in zwei einander fast diametral gegenüber liegenden Puncten; allein er weicht bedeutend von der Kreisform ab.

Außer den Linien gleicher Declination, Inclination und Intensität können noch andere Curven auf der Erdfläche, und in gewisser Hinsicht der Theorie des Erdmagnetismus mehr zusagende betrachtet werden, nämlich die Linien gleicher verticaler Intensität, dann die Linien der nördlichen und westlichen Componente der horizontalen Intensität, endlich die Gleichgewichtslinien, d. h. jene Curven, welche die Richtung der Magnetnadel überall senkrecht durchschneiden. In Betreff dieser Curven, so wie auch wegen des näheren Details der oben angeführten Ergebnisse der Theorie müssen wir auf den bereits erwähnten Gauß'schen Atlas des Erdmagnetismus verweisen.

Zweiter Abschnitt.

Elektricität.

---

58. Die in dem vorhergehenden Abschnitte betrachteten magnetischen Erscheinungen haben uns eine eigenthümliche Wirkungsweise einiger Körper kennen gelehrt, deren Ursache wir zwar nicht mit völliger Evidenz darzulegen vermochten, die wir aber dessenungeachtet auf ein klares Schema zurückführen konnten, was uns in den Stand setzte, das Gesetz, welches alle diese Erscheinungen regiert, unter einer höchst einfachen, dem Ausdrucke anderer bekannten Naturgesetze analogen Form auszusprechen. In der Körperwelt ist aber noch ein anderes Agens thätig, das uns bei so verschiedenartigen Ereignissen und unter so mannigfaltigen Gestalten entgegen tritt, daß es der feinsten Untersuchungen bedurfte, um in den, dem Anscheine nach ganz heterogenen Wirkungen die Identität der Ursache zu erkennen. Dieses Agens, welches den Namen Elektricität führt, steht mit dem Principe der magnetischen Erscheinungen in einer nahen Beziehung; seine Wirksamkeit reicht aber viel weiter, denn es kann durch Reibung, Druck, Trennung der Körpertheile, Formänderung, durch bloße Berührung heterogener Körper, durch Temperaturänderung, durch chemische Actionen, durch Einfluß des Magnetismus, der Lebenskraft, und vielleicht noch durch andere die kleinsten Körpertheile in Anspruch nehmende Vorgänge, z. B. Licht, Schall u. dgl. rege gemacht werden. Da uns das eigentliche Wesen der Elektricität unbekannt ist, so können wir uns in dem Labyrinthe der Erscheinungen, die wir ihr mit Grund zuschreiben, nur durch eine hypothetische Vorstellungsweise zurechtfinden, indem wir, wie in der Lehre vom Magnetismus, die Existenz besonderer Stoffe postuliren. Nur fordert es die Mannigfaltigkeit der Phänomene zweierlei Wirkungsarten des elektrischen Princips zu unterscheiden, nämlich die Phänomene des Gleichgewichtes oder die elektrostatischen und die der Bewegung, oder die elektrodynamischen. Der Zustand des elektrischen Prinzipes, welcher die ersteren bedingt, wird durch das Wort Spannung bezeichnet; der Zustand der Elektricität in Bewegung heißt elektrischer Strom. Es ist nöthig, sogleich bei den ersten Schritten in der Elektricitätslehre auf diesen wichtigen Unterschied zu achten; die nähere Erklärung beider Arten von Erscheinungen kann aber, ohne der Deutlichkeit des Vortrages Abbruch zu thun, nur allmälig bei

Gelegenheit der Entwicklung der Gesetze der Elektricität gegeben werden. Dieß geschieht im Folgenden, wo die einzelnen Lehren nach ihrem gegenwärtigen Zustande in einer aus der Natur des Gegenstandes selbst hervorgehenden Ordnung aus einander gesetzt werden.

Erstes Kapitel.

Erscheinungen der elektrischen Spannung überhaupt.

A. Arten der Elektricität und Kennzeichen derselben.

59. Wenn man eine Glas- oder Siegellackstange mit einem wollenen Lappen reibt, so erlangt sie dadurch die Fähigkeit, leichte Körper, als: feine Papierstreifchen, eine kleine Kork- oder Hollundermarkkugel u. dgl. schon von einiger Entfernung her anzuziehen, und diese Körper, nachdem sie mit ihr in Berührung gekommen sind, abzustoßen. Nähert man die geriebene Stange einigen auf dem Tische liegenden Papierschnitzchen, so werden diese angezogen, hierauf abgestoßen, aber sobald sie den Tisch berührt haben, wieder angezogen, wodurch ein mehrmaliges Hin- und Herhüpfen derselben entsteht; ein an einem Seidenfaden hängendes Hollundermarkkügelchen wird angezogen, dann abgestoßen und scheint fortwährend die ihm dargebotene geriebene Stange zu fliehen: nur nach längerer Zeit, oder nach Berührung des Kügelchens mit dem Finger beginnt die Anziehung von Neuem. Ist die Stange hinreichend massiv, so zeigt sich bei kräftiger Reibung im Finstern ein Lichtschein, und man sieht, wenn man an der Stange mit dem Finger herabfährt, hell leuchtende Funken knisternd hervorbrechen: nach längerem Reiben entwickelt sich ein eigenthümlicher, dem des brennenden Phosphors ähnlicher Geruch; die dem Gesichte genäherte Stange verursacht durch ihre Einwirkung auf die feinen Härchen an der Haut eine Empfindung, als wäre man in ein Spinngewebe gerathen. Erscheinungen dieser Art, insbesondere die der Anziehung leichter Körper, hat man zuerst am geriebenen Bernsteine (electrum) bemerkt; man nannte sie daher elektrische Erscheinungen, welche Benennung aber seitdem einen viel größeren Umfang erhalten hat, denn die Reibung ist nur eine specielle Art der Elektricitätserregung, indessen vorzüglich geeignet, Erscheinungen der elektrischen Spannung in einem gesteigerten, zum Studium derselben besonders dienlichen Maße hervorzurufen, weßwegen damit der Anfang gemacht wird.

Die Anziehung einer geriebenen Glas- oder Holzstange gegen leichte Körper hat einige Aehnlichkeit mit der Einwirkung eines Magnetes auf Eisenfeile; doch unterscheidet sich die elektrische Action von der magnetischen schon dadurch, daß bei ersterer die Anziehung nach der gegenseitigen Berührung der betreffenden Körper sich in Abstoßung verwandelt, was bei letzterer nicht vorkommt.

60. Bringt man eine geriebene Glas- oder Siegellackstange mit einem auf Glas oder Harz ruhenden oder an Seide hängenden abge-

rundeten, glatten Metallkörper, indem man die Stange an dem Metalle vorüber führt, ihrer Länge nach in Berührung, so findet man den Metallkörper nicht bloß an der Berührungsstelle, sondern an jedem Orte seiner Oberfläche elektrisch. Es ist ihm also Elektricität mitgetheilt worden. Berührt man diesen Metallkörper hierauf mit dem Finger oder mit einem Stücke Metall, das man in der Hand hält, wenn auch nur an einer einzigen Stelle, so wird ihm die mitgetheilte Elektricität augenblicklich und überall entzogen. Der durch Mittheilung elektrisirte Metallkörper verliert aber seine Elektricität nicht, wenn man ihn mit einer nicht elektrischen Glas- oder Harzstange, oder mit Seide berührt. Eine nicht elektrische Glas- oder Harzstange dagegen wird durch Berührung mit einem elektrischen Körper nur an der Berührungsstelle und kaum über dieselbe hinaus elektrisch; hat man aber ein Stück Glas oder Harz durch vielfaches Berühren mit einem elektrischen Körper allenthalben elektrisch gemacht, und man berührt es hierauf an einer Stelle mit der Hand, so verliert es nur an der berührten Stelle seine Elektricität. Hieraus sieht man, daß Glas, Harz, Seide, dem elektrischen Zustande eines Körpers, womit diese Stoffe in Contact kommen, keinen oder einen nur unmerklichen Abbruch thun, indem sie nur schwer die dargebotene Elektricität annehmen, während ein Metallstück die Elektricität leicht und überall annimmt, daß aber dagegen ein elektrisches Metall seine Elektricität sehr leicht an Körper abgibt, welche eine Neigung haben, dieselbe aufzunehmen, während Glas, Harz, Seide ihre Elektricität hartnäckig festhalten. Man nennt deßhalb Körper, welche gegen Elektricität sich wie die Metalle verhalten, gute Leiter; Glas, Harz, Seide und die ihnen in erwähnter Beziehung ähnlichen Körper heißen schlechte Leiter. Indessen lassen sich nicht alle vorhandenen Körper in diese zwei Classen bringen; denn der Uebergang von einer in die andere geschieht nur stufenweise, so daß einige Körper nicht zu den schlechten und nicht zu den guten Leitern gezählt werden können. Diese heißt man Halbleiter. Zu den guten Leitern gehören, nebst den Metallen, gut gebrannte Kohle, Erze, lebende Vegetabilien und Thiere, feuchte Erde, die meisten Salze, viele Flüssigkeiten, Dünste und Säuren, wohl auch Hollundermark ꝛc. Schlechte Leiter sind, nebst den oben genannten, Schwefel, Haare und Federn, alle durchsichtigen Edelsteine, trockene Metalloxyde, trockene atmosphärische Luft bei gewöhnlicher Temperatur, wie auch andere Gase, durch Druck tropfbar gemachtes Cyan und Chlor. (Zeitschr. 10. 124.) Zu den Halbleitern gehören: Alabaster, Marmor, die meisten Erden und Steine. Die Fähigkeit, die Electricität zu leiten, hängt von verschiedenen Umständen ab. Soll ein Elektricitätsleiter die ihm beigebrachte Elektricität behalten, so muß er isolirt, d. h. bloß mit Nichtleitern umgeben werden. Isolirende, d. h. schlecht leitende Körper heißen oft auch Isolatoren.

Hiernach erklärt es sich, warum ein ohne weitere Vorkehrung in der Hand gehaltenes Metall durch Reiben nicht in den elektrischen Zustand versetzt wird, während dieses gelingt, wenn man das Metall an einem

isolirenden Handgriffe hält und sich hüthet, es mit der Hand, die das Reibzeug führt, unmittelbar zu berühren. Eine Eintheilung der Körper in solche, die durch Reiben elektrisch werden, und in solche, die es nicht werden, etwa wie man die Körper in magnetische und nicht magnetische zu theilen gewohnt ist, wäre daher unrichtig.

61. Die durch Reiben des Glases mit einem Tuchlappen erzeugte Elektricität ist von der durch gleiche Behandlung des Harzes erregten wesentlich verschieden. Bringt man nämlich einem Hollundermarkkügelchen, das durch den Seidenfaden, woran es hängt, isolirt ist, von einer geriebenen Glasstange Elektricität bei, so wird es von dieser, wie auch von jeder andern geriebenen Glasstange abgestoßen, dagegen, ohne noch seine Elektricität eingebüßt zu haben, von einer geriebenen Siegellackstange angezogen. Eben so wird das Kügelchen, wenn es von der Siegellackstange durch Berührung Elektricität empfangen hat, von jeder geriebenen Harzstange abgestoßen, von einer geriebenen Glasstange aber angezogen. Man kann den Versuch unmittelbar mit den Stangen selbst machen: eine aufgehängte und geriebene Glasstange wird von einer andern geriebenen Glasstange abgestoßen, von einer elektrisch gemachten Harzstange hingegen angezogen, und eben so wird die bewegliche elektrische Harzstange von einer Harzstange abgestoßen, von einer Glasstange angezogen. Theilt man zwei isolirten Korkkügelchen von derselben Quelle Elektricität mit, so stoßen sie einander ab; gibt man aber dem einen Kügelchen Elektricität der Glasstange, dem andern Elektricität der Harzstange, so ziehen sie sich an. Hat man in dem letztern Falle bei der Mittheilung der verschiedenen Elektricitäten das rechte Maß getroffen, so zeigen sich die Kügelchen, nachdem sie mit einander in Berührung gekommen sind, ganz ohne Elektricität. Hat man die Elektricitäten nicht im rechten Maße angewendet, so erscheinen beide Kügelchen, nachdem sie sich berührt haben, mit der im Ueberschusse vorhandenen Elektricität. Aus diesem Versuche, und noch leichter aus denen, welche sich mit den im Nächstfolgenden zu erklärenden Apparaten anstellen lassen, ergibt sich die wichtige Folgerung, daß sich die durch Reiben des Glases erregte Elektricität und die durch Reiben des Harzes erzeugte gegenseitig ganz oder zum Theil aufheben wie entgegengesetzte Größen. Man nannte vormals die eine dieser Elektricitäten die Glaselektricität, die andere Harzelektricität; diese Benennungen sind jedoch unpassend, weil die betreffenden Elektricitäten nicht allein im Glas und Harz, sondern in jedem andern Körper erzeugt werden, ja sowohl die eine als die andere nach Verschiedenheit der Behandlung im Glas oder Harz erregt werden kann. Es gibt nur diese zwei Elektricitäten und keine dritte; denn man findet keinen elektrischen Körper, der sowohl auf einen mit der Glaselektricität, wie auch auf einen mit der Harzelektricität versehenen Körper anziehend oder auf beide abstoßend wirkte, oder dessen Elektricität nicht durch ein schickliches Maß der einen oder der andern aufgehoben werden könnte. Die zweckmäßigste Benennung der beiden Elektricitäten ist wohl die jetzt allgemein angenommene; sie gründet sich auf den Um-

stand daß diese Elektricitäten sich wie entgegengesetzte Größen in der Mathematik verhalten; dem zu Folge nennt man die eine Elektricität die **positive** (+E), die andere die **negative** (—E). Es ist zwar gleichgültig, welche diesen oder jenen Namen bekommt, aber gewöhnlich nennt man die durch Reiben des polirten Glases mit Leder oder Tuch erzeugte die **positive**, mithin die andere die **negative**. Aus obigem Verhalten der auf gleiche oder auf verschiedene Weise elektrisirten Körper folgt das Fundamentalgesetz, daß **gleichnamig elektrisirte Körper sich abstoßen, ungleichnamig elektrisirte sich anziehen.**

> Wenn hier von zwei entgegengesetzten Elektricitäten wie von zwei wirklich existirenden Dingen geredet wird, so geschieht es, ohne sich in eine Hypothese über das Wesen dieser Elektricitäten einzulassen. Die Existenz zweier verschiedenen elektrischen Zustände ist ein wohl begründetes Factum; nicht minder gewiß ist es, daß jedem dieser Zustände eine besondere nächste Ursache zum Grunde liegt. Durch das Wort »Elektricität« mit dem Beisatze: »positive« oder »negative«, wird vor der Hand nichts weiter als diese nächste Ursache des einen oder des anderen Zustandes bezeichnet.

62. Ein Hollundermarkkügelchen, an einem Seidenfaden hängend, kann, wie aus dem Vorhergehenden erhellet, nicht nur dazu dienen, das Vorhandenseyn des elektrischen Zustandes an einem Körper wahrzunehmen, sondern auch über die Art der Elektricität zu entscheiden. Wird nämlich das Kügelchen in seinem natürlichen Zustande von einem Körper angezogen, so ist dieser elektrisch; wird das Kügelchen nachdem es von dem Körper Elektricität erhalten hat, von einer mit Leder oder Tuch geriebenen Glasstange abgestoßen, oder von einer mit Tuch oder Pelzwerk geriebenen Siegellackstange angezogen, so ist die Elektricität des Körpers die positive; wirken aber die beiden Stangen auf eine der vorgenannten entgegengesetzte Weise, so hat der zu untersuchende Körper die negative Elektricität. Ein solches Hollundermarkkügelchen ist demnach ein wahres **Elektroskop**. Indessen läßt sich mit diesem, dem sogenannten **Kugelelektroskope**, die Anwesenheit und die Art der Elektricität nur da nachweisen, wo sie eine hinreichende Kraft hat, um die Masse des Kügelchens in eine merkliche Bewegung zu versetzen; für schwache Elektricitätsgrade bedarf man jedoch eines empfindlicheren Instrumentes. Sehr zweckmäßig und zu feinen Versuchen anwendbar ist das **Bennet'sche** oder **Goldblattelektroskop** (Fig. 215.) Von dem Ende eines Kupfer oder Messingdrahtes hängen zwei gleich lange schmale Goldblättchen herab, die einander der ganzen Länge nach an der breiteren Fläche berühren. Zur Verminderung des störenden Einflusses des Luftzuges sind die Blättchen in ein Gefäß von Glas eingeschlossen, durch dessen obere Mündung der Draht geht. Am anderen Ende, außerhalb des Gefäßes trägt der Draht eine metallene Kugel oder auch eine Platte. Die Kugel, oder nach der gewöhnlicheren Einrichtung, die Platte, dient dazu, den Goldblättchen die zu untersuchende Elektricität zuzuführen. Sie heißt deßhalb die **Zuleitungs-** oder **Collectorplatte**. So-

bald dieß geschieht, weichen die Goldblättchen in Folge der unter denselben eintretenden Abstoßung aus einander und bilden, nach Maßgabe der Stärke (Spannung) der ihnen beigebrachten Elektricität, einen größeren oder kleineren Winkel, den man mittelst eines Gradbogens messen kann. Es ist unerläßlich, daß die zuleitende Platte oder Kugel, wie auch der Draht eine vollkommen glatte (polirte) Oberfläche haben, weil an rauhen, oder mit Spitzen versehenen Stellen eines Leiters die Elektricität sehr leicht entweicht, was einen ordentlichen Versuch unmöglich machen würde. Trägt man Sorgfalt, die Luft in dem wohlverschlossenen Gefäße durch etwas Chlorcalcium in vollkommener Trockenheit zu erhalten, und ist die äußere Luft nicht zu feucht, so bleiben die Goldblättchen hinreichend lange in derselben Divergenz stehen. Man pflegt dem Gefäße einen metallenen Boden zu geben, von dem einander gegenüber zwei Metallplatten, oder auch nur zwei an das Glas geklebte Staniolstreifen in die Höhe gehen, woran bei zu großer Divergenz die Goldblättchen anschlagen und ihre Elektricität absetzen können; auch befördert die Anziehung zwischen den Goldblättchen und Metallstreifen die Divergenz der ersteren, wodurch das Instrument an Empfindlichkeit gewinnt. Man kann auch, wo es nicht auf die äußerste Empfindlichkeit ankommt, statt der Goldblättchen, wie Volta gethan hat, dünne Stroh- oder Grashalme anwenden, und erhält dadurch ein minder verletzbares, zur Demonstration der Eigenschaften der Elektricität bei Vorträgen sehr brauchbares Instrument.

63. Die eigentlichen Vorzüge des so eben beschriebenen Elektroskopes können an dem gegenwärtigen Orte nicht einmal geltend gemacht werden, da sie erst in dem Gebrauche des Instrumentes hervortreten, der auf später vorzutragenden Lehrsätzen beruht. Dessen ungeachtet ist aber dieses Elektroskop doch nur mehr zu qualitativen Indicationen, wo es vor allem auf Empfindlichkeit ankommt, als zu quantitativen Bestimmungen geeignet. Denn wenn gleich dasselbe ein Mehr oder Weniger an elektrischer Kraft leicht zu erkennen gibt, so erfordert seine Anwendung zum wirklichen Messen dieser Kraft ganz besondere theoretische Hilfsmittel, so daß dem practischen Physiker ein Instrument, welches diesem Zwecke ohne künstliche Rechnung direct genügt, sehr willkommen seyn muß. Die Coulomb'sche Drehwage so gebraucht, wie es schon ihr Erfinder, und in neuester Zeit Faraday musterhaft gethan hat, genügt allen Anforderungen. Es unterscheidet sich die elektrische Wage von der im vorhergehenden Abschnitte (29) beschriebenen magnetischen darin, daß sich an der Stelle des an einem feinen elastischen Faden (am besten von Glas) hängenden Metallstabes ein leichter Hebel aus Schellack befindet, der an einem Ende eine vergoldete Kugel oder ein Scheibchen aus Goldpapier, am anderen aber eine zur Aequilibrirung des Stäbchens passende Masse trägt, der man die Gestalt einer Windfahne geben kann, um eine rasche Einstellung des Hebels auf eine fixe Lage zu befördern. Im natürlichen Zustande ruht der Schellackhebel in der Verticalebene, wo sich der Nullpunct der Eintheilung des Glaskastens befindet, und das

Papierscheibchen oder die leitende Kugel berührt eine andere auch leitende Kugel, die von außen und oben in den Kasten geschoben und wieder heraus genommen werden, und mittelst welcher man dem Hebel Elektricität mittheilen kann. Sowohl oberhalb als unterhalb der Theilung des Glaskastens befindet sich rings um den Kasten ein Streifen von Zinnfolie, beide Streifen sind sowohl unter sich als mit der Erde leitend verbunden, und innerhalb des Kastens ist auf einem Glastischchen Chlorcalcium oder geschmolzene Pottasche angebracht, welcher Stoff mit einem Drahtnetze umgeben ist, und die Bestimmung hat, die Luft trocken zu erhalten, und darum auch nur gebraucht wird, wenn diese Trockenheit beabsichtiget ist. Um mit der Drehwage die Größe der elektrischen Abstoßung zu messen, theilt man der Kugel der Wage und dadurch der sie berührenden Scheibe des Hebels Elektricität mit, worauf diese sich abstoßen. Hierauf führt man den Hebel auf eine bestimmte Stellung zurück, indem man dem Drahte durch Drehung von oben eine Windung nach einer der Abstoßung entgegengesetzten Richtung ertheilt. Will man nun zwei Abstoßungen mit einander bei gleicher Entfernung des Hebels von seiner natürlichen Lage vergleichen; so darf man nur die Torsion des Drahtes, welche nöthig ist, um dem Hebel in beiden Fällen einerlei Stellung zu geben, durch die Größe des Abstoßungswinkels vermehren: die so erhaltenen Zahlen verhalten sich wie die Repulsionen. Hat man z. B. dem Drahte in einem Falle eine Windung von 70°, im anderen eine Windung von 185° ertheilen müssen, um eine Ablenkung von 10° zu erhalten; so verhalten sich die Repulsionen wie $70 + 10 : 185 + 10 = 80 : 195$. Auf ähnliche Weise verfährt man beim Messen der elektrischen Anziehung. Zum Uebertragen der Elektricität von einer Stelle eines Körpers in den Hebel oder in die ihm gegenüberstehende Kugel, dient am besten ein Scheibchen aus Goldpapier mit einem Stiele aus Schellack, an dem man es hält. Dieses heißt darum auch die Probescheibe.

64. Mittelst der Drehwage läßt sich ein seinen Folgen nach äußerst wichtiges Gesetz beweisen, daß nämlich die Kräfte, welche zwei in elektrischem Zustande befindliche kugelförmige Körper in verschiedenen Distanzen ihrer Mittelpuncte auf einander ausüben, sich verkehrt verhalten, wie die Quadrate dieser Distanzen. Zur Rechtfertigung dieses Gesetzes hat Coulomb folgenden Versuch angestellt: Er drehte den Hebel mittelst des Drahtes so, daß die Kugel des Hebels die ihm gegenüberstehende ohne Windung des Drahtes berührte, theilte hierauf beiden Kugeln eine geringe Elektricität (mittelst des Kopfes einer isolirten Stecknadel) mit, durch welche die Kugel am Hebel um einen Winkel von 36° abgestoßen wurde. Drehte er nun abermals den Draht um 126° gegen die Ordnung der Zahlen am Kreise des Gehäuses, so fand er, daß die Kugel nur mehr um 18° von ihrer natürlichen Stellung abstand. Es verhielt sich daher die Stärke der elektrischen Kraft in beiden Abständen wie $36 : 126 + 18 = 36 : 144 = 1 : 4$, die Abstände waren aber im Verhältnisse $2 : 1$. Auf ähnliche Art verfuhr er, um das Gesetz der Anziehung zu finden, welches zwischen

Kugeln, deren elektrische Zustände einander entgegengesetzt sind, Statt findet. Betrachtet man, wie es naturgemäß ist, die Action einer Kugel auf die andere, als das Resultat der Actionen ihrer kleinsten Theile und nimmt man an, daß die Kräfte, welche von allen Puncten einer im Innern der Kugel mit beliebigem Halbmesser concentrisch beschriebenen Kugelfläche ausgehen, unter sich gleich sind, so folgt hieraus nothwendig, daß auch die gegenseitigen Kräfte der kleinsten elektrischen Körpertheilchen dem Quadrate ihrer Distanz verkehrt proportionirt sind.

65. Die Elektroskope lassen sich dazu gebrauchen, eine genauere Kenntniß von der Art zu erlangen, auf welche die Elektricität an einem Körper haftet. Wird einem isolirten leitenden Körper Elektricität mitgetheilt, so befindet sich diese nur an der Oberfläche desselben. Denn deckt man die Oberfläche einer metallenen Kugel mit zwei halbkugelförmigen, mit isolirten Handgriffen versehenen Schalen von Metall, und theilt ihr dann Elektricität mit, so findet man sie, nach Wegnahme der Schalen ganz ohne Elektricität, diese aber elektrisch, zum Beweise, daß die Elektricität in den Schalen, mithin an der Oberfläche ihren Sitz hat. Elektrisirt man eine mit einem Loche versehene hohle metallene Kugel, so zeigt eine in dieses Loch gesenkte Probescheibe, nachdem man sie sorgfältig, ohne Berührung der Ränder herausgenommen hat, keine Spur von Elektricität. Nicht leitende Körper werden dagegen bei kräftiger Elektricitätseinwirkung auch in ihrer Masse elektrisch, und bleiben hartnäckig in diesem Zustande. Es liegt also in der Beschaffenheit der Elektricität, sich an die Oberfläche eines Körpers zu begeben, in so ferne die materielle Beschaffenheit des letzteren es gestattet.

66. Eine Probescheibe, die man mit verschiedenen Stellen der Oberfläche einer isolirten, und durch Mittheilung elektrisirten Metallkugel in Contact bringt, empfängt von jeder Stelle gleiche elektrische Kraft: bei einem länglichen Körper aber zeigt sich diese Kraft an verschiedenen Stellen verschieden, am stärksten an den Enden. Es hängt also die Anordnung der Elektricität an der Oberfläche eines leitenden isolirten Körpers von der Gestalt desselben ab.

67. Da man bei Versuchen über die Anordnung der Elektricitäten an einem Körper nur einen Punct nach dem anderen untersuchen kann; so ist klar, daß man zu unrichtigen Folgerungen verleitet würde, wenn in der Zwischenzeit der Körper einen Theil seiner Elektricität verloren hätte, und man nicht darauf Rücksicht nähme. Ein solcher Verlust ist aber unvermeidlich, indem auch der auf das beste isolirte Körper theils den isolirenden Stützen, theils der Luft, besonders wenn sie feucht ist, immer etwas von seiner Elektricität mittheilt. Man wird also nur dann bei Versuchen über die Anordnung der Elektricität an einem Körper zu einem richtigen Resultate gelangen, wenn man im Stande ist, diesen Verlust in Rechnung zu bringen, welches wieder nur der Fall ist, wenn man das Gesetz, nach welchem er erfolgt, kennt.

68. Um das Gesetz des Elektricitätsverlustes kennen zu lernen, hat Coulomb den Verlust durch die unvollkommen isolirenden Stützen von dem durch die Luft abgesondert. Er überzeugte sich zuerst davon, daß eine Schellackstange von $1/2$ L. Dicke und 18—20 L. Länge eine mäßig elektrisirte Kugel von Hollundermark, deren Durchmesser 5—6 Linien beträgt, vollkommen isolire: denn ihr Elektricitätsverlust war gleich, sie mochte durch ein oder durch mehrere solche Stängelchen getragen werden. Wurde daher eine Schellackstange, wie die angegebene, als Hebel einer Wage gebraucht, und die genannte Hollundermarkkugel dem Hebel gegenüber gesetzt; so konnte man gewiß seyn, daß der Elektricitätsverlust, den sie erleidet, bloß auf Rechnung der Luft komme. Coulomb fand, daß dieser Verlust in einerlei Zeit und bei einerlei Feuchtigkeitszustand der Luft stets der Intensität der Eletricität proportionirt, welche der elektrische Körper der Probescheibe mittheilt, übrigens aber vom Leitungsvermögen des elektrischen Körpers, und bei einer geringen elektrischen Spannung, auch von der Gestalt dieses Körpers unabhängig sey. Da man nun den Elektricitätsverlust einer Kugel kannte, die mittelst einer Schellackstange vollkommen isolirt war, und daher bloß der Luft Elektricität abgeben konnte; so brauchte man nur den Verlust desselben Körpers zu beobachten, wenn er von einer Glasstange getragen oder an einem Seidenfaden aufgehängt war, davon den Verlust durch die Luft abzuziehen, um den Verlust durch unvollkommene Isolirung von Seite der Stützen zu erhalten. Auch hier fand man, daß sich die Leitungsfähigkeit eines Körpers unter übrigens gleichen Umständen nach der Intensität der Elektricität richte, und so wie diese Intensität abnehme. — Man sieht hieraus, daß für sehr kleine Grade der Elektricität fast alle Körper völlige Nichtleiter sind, so daß es gar nichts Ungereimtes wäre, zu behaupten, es befinde sich in allen Körpern, ungeachtet ihrer leitenden Verbindung unter einander, immer ein gewisses Quantum freier Elektricität.

Bei einem von Coulomb angestellten Versuche, wo der Verlust bloß durch die Luft erfolgte, war die abstoßende Kraft der Elektricität einer Windung des Drahtes von 270° proportionirt. Nach einer Minute mußte man diese Windung um 6° vermindern, um denselben Abstoßungswinkel zu erhalten, so daß nun die Abstoßung nur einer Windung von 264° entsprach. Die mittlere Elektricitätsmenge war nun der Größe $\frac{270 + 264}{2} = 267°$ proportionirt, und von dieser betrug der 6° entsprechende Verlust $\frac{6}{267} = \frac{1}{44,5}$. Nach Coulomb beträgt bei trockener Luft dieser Verlust in 1 M. in der Regel $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$, bei feuchter Luft steigt er oft auf $\frac{1}{20}$ der mittleren Spannung.

69. Untersucht man die an die Probescheibe abgesetzte Intensität der Elektricität eines Körpers an verschiedenen Puncten zu verschiedenen Zeiten, nachdem er entweder durch die Luft oder durch unvollkommene Isolirung einen Theil seiner Elektricität verloren hat; so überzeugt man sich, daß das Verhältniß dieser Intensitäten an verschiedenen Puncten stets dasselbe bleibt, die absolute Menge der

Elektricität mag wie immer ab- oder zugenommen haben. Diese Erfahrung erlaubt die Folgerung, daß durch den Zuwachs einer doppelten oder dreifachen Menge der Elektricität auch jedes Element des elektrischen Körpers doppelte oder dreifache Elektricität bekomme, und daß sich größere und kleinere Elektricitätsmengen stets nach demselben Gesetze anordnen und ins Gleichgewicht treten, welchen Begriff man sich auch sonst von dem machen möge, was man Elektricitätsmenge zu nennen hat, dessen nähere Festsetzung erst in der Folge gegeben werden kann.

B. Erregung elektrischer Spannung durch Induction.

70. Nähert man der Zuleitungsplatte eines Volta'schen oder Bennet'schen Elektroskopes eine stark geriebene Glasstange, so divergiren die Strohhalme oder Goldblättchen schon, wenn die Stange sich noch in bedeutender Distanz von der Platte befindet, und die Divergenz nimmt mit der Annäherung des elektrischen Körpers zu. Entfernt man den elektrischen Körper vom Elektroskope, so fallen die Blättchen stufenweise zusammen, und erhalten zuletzt ihre natürliche Stellung wieder. Alles geht ohne einen wahrnehmbaren Unterschied eben so vor sich, wenn man statt der Glasstange eine Harzstange anwendet; allein die nähere Beschaffenheit der diese Vorgänge bedingenden Kräfte ist dennoch in beiden Fällen eine verschiedene, und zwar wirken diese Kräfte mit einander verglichen, auf entgegengesetzte Weise. Hat man nämlich die Blättchen des Elektroskopes durch Annäherung einer stark geriebenen Glasstange in Divergenz versetzt, und man bringt, während die Glasstange in der Position, die sie zuletzt hatte, unverrückt stehen bleibt, eine stark geriebene Siegellackstange heran, so vermindert sich die Divergenz der Blättchen, und diese fallen endlich ganz zusammen; nähert man die Siegellackstange dem Elektroskope noch mehr, so gehen die Blättchen wieder aus einander. Entfernt man jetzt die Glasstange, so wird die letztere Divergenz der Blättchen dadurch nur noch vergrößert. Hier liegt nun die entgegengesetzte Natur der von der Glas- und Siegellackstange ausgehenden Kräfte am Tage, und man sieht, daß es bei dem gleichzeitigen Wirken beider, bezüglich der Beschaffenheit des Unterschiedes ihrer Actionen, nur darauf ankommt, welche dieser Kräfte das Uebergewicht hat.

71. Der wichtigste Umstand bei diesen Versuchen besteht jedoch darin, daß hier eine bloße Wirkung in die Ferne Statt zu finden scheint, in so fern nämlich das Elektroskop dabei keine Elektricität von den elektrischen Körpern empfängt, weil sonst die Blättchen nach Entfernung dieser Körper eine gewisse Divergenz behalten müßten. Letzteres erfolgt auch in der That, wenn man einen der genannten Körper mit der Zuleitungsplatte in unmittelbare Berührung bringt, jedoch mit der Vorsicht zur Schonung des zarten Elektroskopes dazu einen nur schwach elektrischen Körper anzuwenden; da behalten die Blättchen eine bleibende Divergenz. Hat man die Berührung mit einer Glasstange gemacht, und man nähert dem Elektroskop eine stark ge-

riebene Glasstange, so gehen die Blättchen sogleich weiter aus einander; nähert man aber dem Elektroskope eine Harzstange, so wird die Divergenz der ursprünglich durch Glas elektrisirten Blättchen verringert. Nach gänzlicher Entfernung der einen oder der andern Stange zeigen die Blättchen wieder ihre frühere, durch die Mittheilung der Elektricität bewirkte Divergenz. Aus diesen Versuchen folgt, daß die Wirkung, welche ein elektrischer Körper aus der Ferne auf das Elektroskop ausübt, der Art nach mit jener übereinstimmt, welche er bei unmittelbarer Berührung mit der Zuleitungsplatte, d. h. bei Mittheilung von Elektricität an selbe, hervorbringen würde.

72. Der eigentliche Vorgang bei dieser Einwirkung eines elektrischen Körpers aus der Ferne auf das Elektroskop wird durch folgende Abänderung des Versuches noch mehr in das Licht gesetzt. Es sey der elektrische Körper eine stark geriebene Glasstange, und sie habe in einer bestimmten Distanz vom Elektroskope eine gewisse Divergenz der Blättchen hervorgerufen. Nach dem Vorhergehenden weiß man, daß dieß in Folge der Aeußerung positiver Elektricität geschieht. Man berühre nun, die Glasstange stets in derselben Position haltend, die Zuleitungsplatte irgendwo mit dem Finger. Sogleich fallen die Blättchen zusammen; es ist also jedes Anzeichen von Elektricität verschwunden. Entfernt man, nachdem man den Finger weggezogen hat, die Glasstange allmälig, so gehen die Blättchen aus einander, und bleiben nach gänzlicher Beseitigung der Glasstange in einer der früheren gleichen Divergenz stehen. Nähert man die Glasstange wieder, so fallen die Blättchen anfänglich zusammen, aber bei noch weiter fortgesetzter Annäherung der Glasstange gehen sie aus einander; entfernt man jetzt die Glasstange, so gehen die Blättchen gleichfalls zuerst zusammen und dann gehen sie aus einander. Nähert man dem Elektroskope während die Blättchen die ihnen jetzt bleibend eigene Divergenz haben, eine geriebene Siegellackstange, so wird die Divergenz sogleich vergrößert. Die gegenwärtige Divergenz der Elektroskop-Blättchen ist also eine Aeußerung wirklich vorhandener negativer Elektricität. Wiederholt man denselben Versuch, nachdem man das Elektroskop durch Berührung mit dem Finger seiner Elektricität beraubt hat, mit einer Siegellackstange, und berührt, sobald eine gewisse Divergenz der mit negativer Elektricität aus einander gehenden Blättchen eingetreten ist, die Zuleitungsplatte mit dem Finger, so fallen die Blättchen zusammen; zieht man den Finger weg und entfernt darauf die Harzstange, so gehen sie mit bleibender Elektricität aus einander, die sich als positive charakterisirt. Man hat hier offenbar durch die Berührung der Zuleitungsplatte die Elektricität, mit welcher die Blättchen unter dem Einflusse des elektrischen Körpers (der Glas- oder der Harzstange) anfänglich aus einander gingen, weggeschafft; hätte man es nicht gethan, so wäre nach Entfernung des elektrischen Körpers der natürliche Zustand des Elektroskopes zurückgekehrt; nunmehr aber tritt derjenige Zustand ein, mit dem die weggeschaffte Elektricität den natürlichen Zustand erzeugt hätte; es zeigt sich also der dem früheren entgegenge-

setzte elektrische Zustand. Die Richtigkeit dieser Art das Phänomen zu betrachten tritt noch mehr hervor, wenn man, während die Blättchen des Elektroskopes unter dem Einflusse eines elektrischen Körpers in Divergenz stehen, die Zuleitungsplatte nicht mit dem Finger, sondern mit einem kleinen, an einem isolirenden Handgriffe befestigten Metallstücke berührt. Da fallen die Blättchen nicht ganz zusammen, sondern ihre Divergenz wird nur vermindert. Entfernt man das Metallstück und darauf den elektrischen Körper, so fallen die Blättchen anfänglich zusammen und gehen darauf bleibend aus einander, und zwar zeigt ihre Elektricität alle Symptome des Gegensatzes mit derjenigen, die der elektrische Körper hatte. Noch schöner macht man den Versuch, wenn man ein zweites Elektroskop von gleicher Construction, das man in einiger Distanz von dem ersten aufstellt, und einen Draht mit einem isolirenden Handgriffe zu Hülfe nimmt, um nach Gefallen beide Collectorplatten mit einander in leitende Verbindung zu setzen. Nähert man dem ersten Elektroskope eine geriebene Glasstange bis die Blättchen dieses Elektroskopes zu gehöriger Divergenz gekommen sind, und verbindet man sodann beide Collectorplatten mittelst des Drahtes, so wird die Divergenz in dem ersten Elektroskope vermindert, und in dem zweiten entsteht dafür eine Divergenz, die jener im ersten Elektroskope gleich ist. Unterbricht man jetzt die Verbindung der Elektroskope und entfernt man sodann die Glasstange, so fallen die Blättchen in dem ersten Elektroskope zusammen und gehen hierauf aus einander, in dem zweiten Elektroskop bleibt die frühere Divergenz fast ungeändert; die jetzt bestehenden Divergenzen in beiden Elektroskopen erweisen sich als Wirkungen entgegengesetzter Elektricitäten, und zwar herrscht in dem ersten Elektroskope $+E$, im anderen $-E$, was sich durch die Probe mit einer Glas- oder Harzstange auf die oben angedeutete Art leicht zu erkennen gibt.

73. Die hier erklärten Versuche gelingen eben so, wenn man statt der geriebenen Glas- oder Harzstange einen durch Mittheilung elektrisirten Leiter auf das Elektroskop einwirken läßt, wobei dieser Leiter nichts von seiner Elektricität einbüßt, was man mit Hülfe eines zweckmäßig angebrachten Elektroskopes rechtfertigen kann, und auch schon daraus sieht, daß sich der Leiter zu dem Versuche, wenn die äußeren Umstände günstig sind, viele Male mit ungeschwächtem Erfolge gebrauchen läßt. Alles dieses gibt zu erkennen, daß ein elektrischer Körper jeden in seiner Nähe befindlichen Leiter in einen Zustand elektrischer Spannung versetzt, ohne ihm Elektricität mitzutheilen. Bleibt der Leiter unberührt, so währt diese Spannung nur so lange, als der elektrische Körper in der Nähe ist: sie verschwindet gänzlich, wenn der elektrische Körper entfernt wird. Kommt der Leiter, während er unter dem Einflusse des elektrischen Körpers steht, mit der Erde in leitende Verbindung, so verliert sich die elektrische Spannung gleichfalls, aber nach Entfernung des elektrischen Körpers tritt abermal eine elektrische Spannung und zwar entgegengesetzter Art ein. Diese Erscheinungen beweisen zugleich, daß der Leiter sowohl den Grund zur po-

sitiven, wie auch zur negativen Elektricität in sich enthalte, deren Zusammenseyn den natürlichen Zustand begründet. Wird die Wirksamkeit des einen Princips durch äußeren Einfluß bekämpft, oder gar beseitigt, so tritt die Wirksamkeit des andern hervor. Geschieht dieß durch den Einfluß eines bereits in elektrischem Zustande befindlichen Körpers, so sagt man, es finde Induction oder Elektrisirung durch Vertheilung Statt. Der Raum, in welchem diese mit wahrnehmbarem Effecte vor sich geht, heißt die elektrische Atmosphäre eines Körpers.

74. Der Hergang der Elektrisirung durch Vertheilung läßt sich noch auf eine von der oben beschriebenen etwas abweichende, nicht minder lehrreiche Art darstellen. Man bedient sich dazu eines länglichen isolirten Leiters, wie z. B. eines etwa 3 L. dicken, 6—8 Z. langen, an beiden Enden rund gefeilten, mit einem isolirenden, senkrecht daran befestigten Handgriffe versehenen Drahtes (Fig. 216), der an mehreren Stellen, unter anderen auch an den Enden Strohhalme, oder an feinen Drähten hängende Hollundermarkkügelchen trägt, die eben so viele Elektroskope vorstellen. Stellt man diesen Leiter in verticaler Lage über einen mit Pelzwerk stark geriebenen, also negativ elektrischen, oder kurz gesagt mit — E versehenen Harzkuchen, so bemerkt man daran Folgendes: 1) Die am Drahte hängenden Kügelchen werden abgestoßen, und zeigen dadurch, daß der Draht elektrisch geworden sey. 2) Die Ablenkung dieser Kugeln vom Drahte ist an beiden Enden desselben am größten, wird gegen die Mitte zu immer schwächer, und nahe an der Mitte gibt es eine Stelle, wo, wenn sich dort derlei elektroskopische Kugeln befinden, gar keine Ablenkung derselben Statt hat. Es ist also der Draht an den Enden am meisten, in der Mitte weniger, an einer Stelle gar nicht elektrisch. 3) Untersucht man die Beschaffenheit dieser Elektricität, indem man dem Leiter eine geriebene Glas- oder Siegellackstange nähert, so findet man, daß das dem Harzkuchen zugekehrte Ende + E, das davon abgewendete — E hat. Es ist daher der Draht ganz anders elektrisirt, als es durch Mittheilung elektrisirte Körper zu seyn pflegen, indem hier beide Elektricitäten und zwar in einem guten Leiter zugleich und doch getrennt vorkommen. 4) Entfernt man den Draht vom Harzkuchen, ohne ihn zu berühren, so hört die Ablenkung der Kugeln auf, und es ist kein Zeichen eines elektrischen Zustandes an demselben mehr bemerklich, zum abermaligen Beweise, daß die hier Statt gehabte Elektrisirung von der durch Mittheilung wesentlich verschieden sey. 5) Berührt man den Draht, während er sich unter dem Einflusse des Harzkuchens befindet, an irgend einer Stelle mit dem Finger, so geht ein Funke in denselben über, der Draht verliert die — E, denn die Ablenkung des oberen Kügelchens hört auf; seine + E geht aber nicht nur nicht verloren, sondern ist sogar stärker als vorher, denn das untere Kügelchen divergirt stärker. Nimmt man nun nach geschehener Berührung den Draht aus der Wirkungssphäre des Harzkuchens, so erscheint er durchaus mit + E. Es ist daher diese Elektricität frei geworden. 6) Was an dem Draht

bei der Berührung desselben mit dem Finger geschieht; das erfolgt eben so, wenn man die Berührung an irgend einer Stelle mit einem hinreichend langen isolirten Leiter vornimmt. Ist aber der berührende Leiter nur klein, so ist die Stelle der Berührung, bezüglich der nachfolgenden Erscheinungen, nicht gleichgiltig. Wird der Draht oben, nämlich an dem vom Harzkuchen abgewendeten Ende, wo der Sitz der — E ist, berührt, so zeigt nach Entfernung des berührenden Leiters das obere Kügelchen eine schwächere, das untere eine stärkere Ablenkung als früher; geschieht die Berührung unten, am Sitze der + E, so erfolgt das Umgekehrte. Bringt man den Draht aus der Wirkungssphäre des Harzkuchens, so zeigt er im ersten Falle + E, im zweiten hingegen — E. 7) Alle diese Phänomene lassen sich so oft hervorbringen, als man will, ohne schwächer zu werden, wenn nur der Harzkuchen gehörig elektrisirt ist. Uebrigens verliert derselbe durch solche Versuche nichts von seiner Elektricität.

Der Umstand, daß man, wie in 5) gesagt wurde, einen Leiter, der unter dem Einflusse eines elektrischen (z. B. eines mit — E versehenen) Körpers steht, mit dem Finger berühren darf, ohne die entgegengesetzte Elektricität, welche an der dem genannten Körper zugewendeten Seite des Leiters angehäuft ist (in unserem Falle + E), wegzunehmen, während die gleichnamige (— E) sogleich abgeleitet wird, hat veranlaßt, erstere Elektricität auf dem Leiter eine gebundene, letztere eine freie zu nennen. Die Abänderung des Versuches unter 6) zeigt was es damit für eine Bewandtniß habe, und die Folge wird dieß noch mehr aufklaren. Es genüge hier zu bemerken, daß bei der Berührung eines durch Induction elektrisirten Leiters mit einem andern Leiter die Sache so zu nehmen sey, als wäre bloß ein aus den beiden so eben genannten zusammengesetzter Leiter dem Einflusse des elektrischen Körpers unterworfen. Darnach sind insbesondere die verschiedenen Resultate zu beurtheilen, welche sich ergeben, wenn man einen der Induction ausgesetzten leitenden Körper mit isolirten Leitern von verschiedener Größe und Gestalt auf verschiedene Weise berührt, und die ihm so entzogenen Elektricitäten für diejenigen ansieht, welche an den berührten Stellen des Körpers haften. (Pfaff in Schweigg. J. 61. 391; Pogg. Ann. 44. 332; Rieß ebend. 37. 642; 44. 624.)

75. Die Gesetze der Induction zeigen den Weg zu einem feineren Gebrauche des Bennet'schen oder Volta'schen Elektroskopes. Ist die elektrische Spannung an dem zu untersuchenden Körper gering, so theilt man dem Elektroskope unmittelbar durch Berührung Elektricität mit; ist aber die elektrische Spannung dieses Körpers bedeutend, so bringt man ihn nur in die Nähe des Elektroskopes: sobald die Blättchen hinreichend divergiren, berührt man das Elektroskop mit dem Finger und zieht sodann den Finger, und hernach den zu prüfenden Körper weg. Die Blättchen des Elektroskopes divergiren hierauf mit der Elektricität, welche jener des Körpers entgegengesetzt ist. Diese Elektricität ist positiv oder negativ, je nachdem eine dem Elektroskope genäherte geriebene Siegellackstange die Blättchen sogleich zusammen fallen oder weiter aus einander gehen macht. Eine geriebene Glasstange wirkt natürlich entgegengesetzt.

76. Die so eben betrachteten Erscheinungen der Induction wer-

den offenbar durch die Leitungsfähigkeit des Körpers, woran sie vorgehen, bedingt, und können daher an einem Nichtleiter höchstens nur in dem Bereich der nächsten Körpertheilchen Statt haben, deren eines auf das andere inducirend einwirkt. Daß ein schlechter Leiter die inducirende Wirkung auf den, durch seine Zwischenlagerung von dem erregenden Körper getrennten, guten Leiter nicht hindert, zeigt sich schon daraus, daß die oben beschriebenen Inductionsphänomene in der Luft Statt finden. Nach Faraday's Versuchen macht es keinen Unterschied ob warme oder kalte, dichtere oder dünnere, mehr oder weniger feuchte atmosphärische Luft oder ein anderes Gas sich zwischen dem inducirenden Körper und dem die Induction erfahrenden Leiter befindet; aber feste und tropfbare Körper modificiren den Hergang auffallend, was man sehen kann, wenn man eine Induction in der Luft vor sich gehen läßt, und sodann einen solchen Körper zwischen die in Action befindlichen bringt. Um dieß auf eine einfache Weise zu bewirken, stellt Faraday drei Metallplatten, sie mögen A, B, C heißen, auf isolirenden Füßen einander parallel so auf, daß man die Distanzen der äußeren von der mittleren nach Belieben reguliren kann. In einem Glasgefäße befinden sich zwei Goldblätter, deren jedes an einem isolirten Drahte hängt; die beiden äußeren Platten A, C werden jede für sich mit einem dieser Goldblätter leitend verbunden. Theilt man nun der mittleren Platte B Elektricität mit, während man zugleich A und C ableitend berührt, und überläßt man dann alles wieder sich selbst in seinem isolirten Zustande, so behalten die Goldblätter, obgleich A und C durch Vertheilung von B unter sich gleichnamig, jedoch dem Zustande von B entgegengesetzt, elektrisch gemacht sind, ihre parallele Lage, weil A und C, so lange B elektrisch ist, keine Elektricität zeigen können. Bringt man aber zwischen B und A eine ganz unelektrische Schellack- oder Schwefelplatte, so erfolgt augenblicklich Anziehung der Goldblättchen. Zugleich erweiset sich A positiv elektrisch, woraus Faraday schließt, daß die Induction durch Vermittlung des Schellackes oder Schwefels besser vor sich gehe, als durch die Luft. Aehnliches gilt vom Glase; Terpentinöhl, Naphta zeigen Spuren davon (Pogg. Ann. 36. 124.).

77. Nähert man einem isolirten und elektrisch gemachten Leiter einen andern im natürlichen Zustande befindlichen Leiter bis auf eine gewisse Distanz, so endiget die Vertheilung oder Induction mit einem Uebergange der Elektricität von dem ersten auf den zweiten, weniger oder mehr, je nachdem der zweite Leiter isolirt ist, oder nicht. Man nennt die Distanz, in welcher diese Mittheilung der Elektricität beginnt, die Schlagweite. Sie hängt nebst der Stärke der Elektricität auf dem ersteren Leiter (der Ladung) und der Gestalt beider, von der Beschaffenheit des Mediums ab, und ist insbesondere in dünner Luft größer als in dichterer.

Dadurch darf man sich aber nicht verleiten lassen, die verdünnte Luft für einen Elektricitätsleiter zu halten, denn ein Körper verliert im leeren Raume seine Elektricität nicht, wenn kein anderer in der Nähe ist, der

sie aufnehmen kann, wie Versuche über die Fortdauer der Divergenz der Blättchen eines Elektroskopes unter der Glocke einer Luftpumpe zeigen.

C. Theoretische Ansicht der Phänomene der elektrischen Spannung.

78. Die bisher vorgetragenen Gesetze bilden die Grundlage unserer Kenntniß jener Aeußerung des elektrischen Princips, welche man durch das Wort Spannung bezeichnet. Aus diesen Gesetzen fließen zahlreiche und wichtige Folgerungen, welche in der Erfahrung nothwendiger Weise ihre volle Bestätigung finden. In Betreff der Ursache der Fundamentalphänomene selbst, oder des obersten Grundes aller elektrischen Spannungs-Erscheinungen, lassen uns die vorhandenen Daten ohne entscheidende Auskunft. Wiewohl es scheinen möchte, als könne man dieser Auskunft entbehren, in so fern es sich nur um den Zusammenhang und um die Gesetze der Erscheinungen handelt, so findet man sich doch bei der wirklichen Entwicklung der Elektricitätslehre äußerst beengt, wenn man jeder Hinweisung auf diese oberste Ursache entbehren muß. Es hat dieß seinen Grund in dem Mangel der Vortheile, die aus der Kenntniß des Wesens des elektrischen Princips hervorgehen würden, nämlich Einsicht in den ganzen Umfang der Erscheinungen und in ihre nothwendige Beschaffenheit bis in das kleinste Detail. Daher das seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts, mit den Bereicherungen der Wissenschaft durch Entdeckungen neuer Thatsachen, immer mehr sich kund gebende Bestreben, den theoretischen Theil der Elektricitätslehre auf eine sichere Basis zu gründen. Bald boten sich zwei verschiedene Ansichten über das Wesen des elektrischen Princips dar, deren Anhänger Unitarier und Dualisten genannt werden, je nachdem sie alle elektrischen Phänomene auf die Wirksamkeit entweder einer einzigen, oder zweier unwägbaren Materien eigener Art zurückführen. Die meisten Physiker haben bisher eine oder die andere dieser Hypothesen adoptirt, und unter diesen scheint gegenwärtig die Mehrzahl sich dem dualistischen Systeme zuzuwenden, dem sich auch das vorliegende Werk anschließt. Einen eigenthümlichen Versuch die elektrischen Erscheinungen aus einem obersten Princip abzuleiten, hat in neuester Zeit Faraday in seiner großen Arbeit über die Elektricität aufgestellt, von dem weiterhin die Rede seyn wird.

79. Das dualistische System, als dessen Urheber man den Engländer Robert Symmer ansieht, postulirt die Existenz zweier eigenthümlichen, unwägbaren, ungemein feinen oder ätherischen Materien (Flüssigkeiten), deren eine die positive, die andere die negative elektrische Materie genannt wird. Die Theilchen jedes einzelnen dieser Stoffe stoßen einander ab, aber die Theilchen des einen ziehen die Theilchen des andern an, und zwar befolgt diese Anziehung und Abstoßung das Gesetz des verkehrten Quadrates der Distanzen. In so fern diese elektrischen Materien an den Körpern haften, entstehen bewegende Kräfte, welche nach Umständen die Körper gegen einander zu führen, oder von einander zu entfernen streben. Im natürli-

chen oder nicht elektrischen Zustande eines Körpers enthält derselbe beide elektrischen Materien gleichförmig mit einander gemengt; befindet sich aber an einer Stelle des Körpers mehr von positiver als von negativer Materie, so zeigt sich dort freie positive Elektricität, und eben so tritt, wenn das negative Fluidum das Uebergewicht behauptet, freie negative Elektricität auf. So weit verhält sich die Sache gerade so, wie in der Theorie des Magnetismus die Action der dort postulirten magnetischen Flüssigkeiten; allein hier wird zur Erklärung der elektrischen Phänomene die Voraussetzung gemacht, daß die elektrischen Materien nicht wie die magnetischen bloß an den Bereich eines Körpertheilchens, woran sie vorkommen, gebunden seyen, sondern von einem Theile eines Körpers zu dem andern wirklich übergehen können, in guten Leitern sehr leicht, in schlechten Leitern nur äußerst schwer, in Halbleitern so, wie es eben der größere oder geringere Widerstand gestattet, den die materielle Beschaffenheit des Körpers der Bewegung der elektrischen Flüssigkeiten entgegensetzt. Körper, die im natürlichen Zustande sind, zeigen zu einander weder Anziehung noch Abstoßung, denn beide entgegengesetzten Kräfte bestehen da in gleichem Grade; hat aber ein Körper freies Fluidum, z. B. positives (+E), so wirkt dieses zersetzend auf das natürliche Gemenge beider elektrischen Substanzen eines unelektrischen Körpers, es wird nämlich das Fluidum entgegengesetzter Art (—E) herangezogen, das gleichnamige (+E) zurückgedrängt. Hierin besteht die Induction, deren Ergebniß von dem Umstande abhängt, ob der Körper ein guter oder schlechter Leiter ist. Ist der Körper, der die Induction erfährt, beweglich, so wird er gegen den elektrischen Körper hingezogen, in Folge der überwiegenden Action der ungleichnamigen, einander näher gerückten Flüssigkeiten. In einem Leiter begibt sich die ihm beigebrachte freie Elektricität stets auf die Oberfläche, in Folge der jeder der elektrischen Materien inwohnenden Repulsivkraft.

80. An der Spitze der Unitarier steht Franklin, wohl auch Aepinus, dem das System des ersteren eine weitere Ausbildung verdankt. Nach der Ansicht dieser Gelehrten gibt es bloß eine elektrische Materie, von der jeder Körper in seinem natürlichen Zustande ein gewisses Quantum enthält. Nimmt der Körper mehr als dieses Quantum auf, so erscheint er positiv elektrisch; sinkt sein Gehalt an elektrischer Materie unter dieses Quantum herab, so erscheint er negativ elektrisirt. Deßhalb heißt auch der positive Zustand jener des Ueberflusses, der negative jener des Mangels. Die Theilchen der elektrischen Materie stoßen einander ab; die Körpertheile aber wirken anziehend darauf. Der ersteren Kraft ist die Induction zuzuschreiben. Der Ueberfluß an elektrischer Materie eines Körpers ändert nämlich durch seine überwiegende Repulsion die natürliche Vertheilung der elektrischen Materie eines benachbarten Körpers; an dem Theile, der dem im Ueberflusse befindlichen Körper zugekehrt ist, entsteht Mangel, dafür an dem entgegengesetzten Ueberfluß. Befindet sich aber der inducirende Körper im Zustande des Mangels, so erfolgt in dem Körper, der die In-

duction erfährt, die umgekehrte Anordnung der elektrischen Materie. So weit geht alles sehr einfach aus dieser Ansicht hervor, die durch den Umstand, daß sie bloß einer elektrischen Materie zur Darstellung der Erscheinungen bedarf, sogar etwas vor dem dualistischen Systeme voraus zu haben scheint. Allein die Erklärung der Abstoßung gleichnamig, und der Anziehung ungleichnamig elektrisirter Körper fordert eine subtilere Betrachtung. Die Abstoßung negativ elektrischer Körper läßt sich in dieser Hypothese nur in so fern haltbar erklären, als noch vorausgesetzt wird, daß die Körpertheile, wenn sie aller elektrischen Materie beraubt wären, einander abstoßen würden, und zwar mit einer Kraft, die genau um den Betrag der Gravitation geringer ist, als die Kraft, womit die elektrischen Materien der im natürlichen Zustande befindlichen Körper einander abstoßen, während letztere Kraft der Attraction zwischen den Theilchen der elektrischen Materie und denen des gegenüberstehenden Körpers gleichkommt. Sämmtliche Kräfte werden dabei dem Gesetz des verkehrten Quadrates der Distanz unterworfen gedacht. In dieser Hypothese kann es ganz unbestimmt bleiben, welche der beiden Elektricitäten, die des Glases oder des Harzes, die durch Ueberfluß an elektrischer Materie erzeugte, also die eigentlich positive sey. Es wird jedoch, aber ganz willkürlich angenommen, daß die Elektricität, die gewöhnlich geriebenes Glas zeigt, durch Ueberfluß an elektrischer Materie entstehe.

Die so eben erwähnte Modification an Franklins Hypothese, nämlich die Annahme einer ursprünglichen Abstoßungskraft der Materie, rührt von Aepinus her. Die Erklärung, die sonst gegeben zu werden pflegt, nach welcher die Abstoßung negativ elektrischer Körper durch Mitwirkung der atm. Luft erfolgen soll, steht mit der Erfahrung im Widerspruch, die lehrt, daß die elektrische Repulsion auch im luftleeren Raume Statt findet, sie mag nun von positiver oder negativer Elektricität herrühren.

81. Vergleicht man die unitarische und die dualistische Hypothese über die Grundursache der elektrischen Erscheinungen aufmerksam mit einander, so findet man bald, daß, so lange es sich nur um Phänomene der elektrischen Spannung handelt, die eine genau zu denselben Resultaten führen müsse, wie die andere. Es kann daher auf diesem Felde, wo die größere oder geringere Wahrscheinlichkeit der Voraussetzungen nicht in Betracht kommt, über den relativen Werth dieser zwei Ansichten nicht entschieden werden, sondern sie sind, wenn man die aus einer derselben gezogenen Folgerungen in den Ergebnissen der Erfahrung über das Verhalten der Elektricität im Gleichgewichtszustande nicht wieder finden sollte, beide zugleich widerlegt. Wir werden daher in den folgenden Betrachtungen bloß die dualistische Ansicht, als diejenige, deren Ausdruck eine größere Bequemlichkeit der Darstellung gewährt, im Auge behalten.

82. Die schärfste Prüfung, der man das gewählte System unterwerfen kann, besteht in der Controlle, nicht bloß der qualitativen, sondern der quantitativen Resultate durch präcise Versuche. Versteht man

unter gleichen Mengen elektrischen Fluidums, den bereits in der Lehre vom Magnetismus eingeschlagenen Gang nachahmend, diejenigen, welche an gleichen Leitern haftend, auf eine beliebige andere Menge elektrischer Flüssigkeit in gleichen Distanzen gleiche bewegende Kräfte äußern; setzt man noch voraus, daß die Vereinigung von 2, 3,... gleichen Quantitäten gleichartiger Elektricität eine 2fache, 3fache... Kraft entwickele, eine Annahme, welche durch die in (69) angeführte Erfahrung gerechtfertiget wird, so kann man leicht jede Quantität elektrischer Materie durch eine Zahl ausdrücken. Es bedarf hiezu nur der Bestimmung der Einheit. Als solche wählt man am schicklichsten die Quantität elektrischen Fluidums, die auf eine ihr gleiche, in der Distanz 1 befindliche, mit der bewegenden Kraft 1 wirkt. Ist nun m die elektrische Menge eines Theilchens, m′ die eines andern, r deren Distanz, p ihre gegenseitige Anziehung oder Abstoßung, so hat man $p = \frac{m\,m'}{r^2}$. Sobald man überhaupt die Existenz elektrischer Materien zugibt, gehört diese Formel zu den erwiesenen physikalischen Wahrheiten.

Die obige Voraussetzung über die Proportionalität der elektrischen Quantitäten und der ihnen anklebenden Kräfte bei gleicher Distanz, bestätiget sich auch in folgendem Versuche: Man elektrisirt eine isolirte Metallkugel, berührt sie mit der Probescheibe (63), überträgt ihre Elektricität an die Coulomb'sche Wage und bestimmt die Größe der Abstoßung. Berührt man diese Kugel nachher mit einer zweiten ganz gleichen Kugel, so wird offenbar die Elektricität jedes ihrer Puncte auf die Hälfte reducirt, wenn man dann wieder die Größe ihrer abstoßenden Kraft bestimmt, so findet man sie auch nur halb so groß, als im ersteren Falle. Entgegengesetzte Elektricitäten, welche an gleichen Leitern auf gleichen Distanzen gleiche bewegende Kräfte äußern, mithin nach obigem Begriff der Quantität nach gleich sind, neutralisiren sich auch vollkommen, wenn man sie auf denselben Leiter überträgt, wie es in der Grundlage der Theorie stillschweigend vorausgesetzt wird. An der Richtigkeit des Gesetzes, daß die elektrischen Kräfte sich verkehrt wie das Quadrat der Distanz der auf einander wirkenden Theilchen verhalten, ist, zumal nach den äußerst genauen Versuchen, die Egen auf eine von Coulomb's Verfahren verschiedene Weise angestellt hat, gleichfalls nicht im Mindesten zu zweifeln.

83. Ist die Gestalt eines isolirten Leiters gegeben, so läßt sich mit Zugrundelegung des im Vorhergehenden ausgesprochenen Wirkungsgesetzes der elektrischen Kräfte die Bestimmung der Anordnung freier elektrischer Materie auf der Oberfläche dieses Leiters nach den Principien der Statik mit Hülfe des höheren Calculs unternehmen. Offenbar muß sich das elektrische Fluidum auf der Oberfläche des Leiters so lagern, daß die Resultirende sämmtlicher Actionen der elektrischen Partikel gegen einander eine gegen diese Oberfläche normale Richtung hat, denn sonst könnte kein Gleichgewicht obwalten. Allein hieraus und aus dem Gesetze des verkehrten Quadrates der Distanz folgt, wie Gauß bewiesen hat, nothwendig, daß die Action der elektrischen Flüssigkeit auf jeden Punct im Innern des von der Flüssigkeit

umgrenzten Raumes = o ist. Hiernach sieht man, daß diese Flüssigkeit nach innen keine inductive Wirkung hervorbringen kann, wie es sich vorhinein erwarten ließ. Dasselbe Princip läßt sich auf den Fall ausdehnen, wenn ein elektrischer Leiter einen oder mehrere unelektrische inducirend afficirt. Sonach ist man im Stande ein Rechnungsverfahren anzugeben, nach welchem sich die Dicke der elektrischen Schichte an jedem Puncte der Oberfläche der Leiter und mithin auch die an diesem Puncte herrschende Spannung berechnen läßt, in so fern die Methoden der höheren Analysis gestatten, die Gleichungen, von denen das Endresultat abhängt, zu lösen. Die Resultate des Calculs, den zuerst Poisson unternahm, stimmen in allen Fällen, die bisher mit der Erfahrung verglichen werden konnten, mit derselben genau überein.

Aus diesen Rechnungen erklären sich die in (66) angeführten Erscheinungen, insbesondere die Wirkung der Spitzen, welche dem Abfließen der Elektricität so günstig sind. Ein sehr schönes Beispiel liefert der Contact zweier leitenden und isolirten Kugeln von ungleicher Größe. Am Berührungspuncte ist keine freie Elektricität vorhanden, von da an wächst die Dicke der elektrischen Schichte, an den Endpuncten der durch den Berührungspunkt gehenden Durchmesser ist diese Dicke am größten. Entfernt man die Kugeln von einander, so behält jede die Elektricitätsmenge, die sie bei der Berührung hatte; das Verhältniß beider Quantitäten hängt von den Halbmessern der Kugeln ab. Allein zugleich zerlegt sich etwas von der natürlichen Elektricität der kleineren Kugel, und sie erscheint an dem der größeren zugewandten Theile ihrer Oberfläche entgegengesetzt elektrisch. Bei zunehmender Entfernung nimmt diese entgegengesetzte Elektricität ab und die elektrische Spannung ist an dem Puncte der Oberfläche der kleineren Kugel, in welchem sie von der Verbindungslinie der beiden Mittelpuncte geschnitten wird = o. Bei noch größerem Abstande beider Kugeln herrscht auf der kleineren überall die frühere Elektricität. Eben so lassen sich alle Phänomene durch den Calcul auf das genaueste vorher bestimmen, die sich ergeben, wenn zwei mit beliebigen Mengen verschiedener Elektricitäten versehene Kugeln einander genähert werden, welcher Fall auch das gewöhnliche Inductionsproblem umfaßt.

84. Obgleich diese Theorie der Elektrostatik, wie es scheint, nichts zu wünschen übrig läßt, als die Vervollkommnung der Hilfsmittel der Rechnung, ihr Princip aber richtig gehandhabt, auf den Weg der Wahrheit führt, mithin als ein giltiges Surrogat derselben betrachtet werden kann, so ist doch Faraday in Betreff des Herganges der elektrischen Action anderer Meinung. Folgendes sind die Grundzüge der von ihm aufgestellten, jedenfalls sehr beachtenswerthen Hypothese: Er geht von dem Satze aus, daß es unmöglich sey, einem Körper in seiner Masse bloß eine Elektricität allein beizubringen; immer treten beide Elektricitäten zugleich auf, und wenn es auch scheint, man habe einem Leiter eine gewisse Elektricität gegeben, so ist es doch nur die an seiner äußern Begrenzung durch Vertheilung hervorgerufene Elektricität, die wir an ihm wahrnehmen. An seiner inneren Begrenzung, wenn er hohl ist, treffen wir keine Elektricität an, weil sich da die entgegengesetzten Actionen einander entgegen stehender Theile rings herum aufheben. Ein Nichtleiter läßt sich eben so wenig durch-

aus mit einerlei Elektricität laden, obwohl er solche auch im Inneren seiner Masse zeigen kann; allein immer ist da auch die entgegengesetzte Elektricität versteckt, so wie sie durch Vertheilung hervorgerufen wurde. Die Quelle der Elektricität hat ihren Sitz in den Molekeln der Körper; der elektrische Zustand besteht darin, daß die Molekel an entgegengesetzten Hälften entgegengesetzte Eigenschaften oder Polarität erlangen; wie sie dieselbe bekommen, worin diese ihren weiteren Grund hat, kann nicht angegeben werden: dieß wäre das Object einer ferneren Untersuchung, die man für den Augenblick noch von der Hand weisen darf. In der Herbeiführung dieser Polarität der Molekel liegt der Grund dessen, was man Induction nennt, die demnach die alleinige Aeußerung der Elektricität ist. Die inducirten Molekel befinden sich in einem Zwangszustande, da sie in den Zustand der Polarität nur auf äußere Veranlassung treten; hört diese Veranlassung auf, so nehmen sie den natürlichen Zustand wieder an. Daher geben sie während ihres polarischen Verhaltens ein fortwährendes Bestreben kund, in den früheren Zustand zurückzukehren. Die Veranlassung zur Herbeiführung der Polarität der Molekel kann der polare Zustand eines benachbarten Molekels seyn; dieß ist die einzige Art der Fortpflanzung der elektrischen Wirksamkeit eines Molekels auf eine meßbare Distanz hin; ein Theilchen kann nur ein benachbartes afficiren, eine unmittelbare inducirende Wirkung in die Ferne findet, nur durch den leeren Raum hin auf die nächsten materiellen Molekel, sonst aber nicht Statt. Elektricitätsleitung ist Uebertragung des polaren Zustandes eines Molekels auf ein anderes, wobei das erstere in seinen natürlichen Zustand zurückkehrt; bei guten Leitern geht dieses leicht an, bei schlechten schwer; der Unterschied zwischen beiden wird durch die Zeit bedingt, die dazu nöthig ist. Von den Molekeln selbst kann man nicht sagen sie seyen Nichtleiter, sie sind wegen ihrer Empfänglichkeit für Aenderungen ihres natürlichen Zustandes als Leiter zu betrachten. Bei schlechten Leitern geht der wirklichen Fortpflanzung der Elektricität, die durch die polarische Affection ihrer Molekel begründete Tendenz dazu voran; hiedurch werden schlechte Leiter die Mittel, durch welche elektrische Körper auf entfernte Leiter wirken und die Erscheinung der gewöhnlichen Vertheilung hervorbringen. Diese Vertheilung kann demnach, wenn ein Leiter die gerade Communication unterbricht, auch auf krummen Wegen zu Stande kommen, wenn nur längs desselben nichtleitende Molekel vorhanden sind. Dieser Effect wird aber durch die Beschaffenheit des isolirenden Mediums (durch das specifische Inductionsvermögen desselben) bedingt, was, gleichwie die inducirende Action in krummen Linien, nach Faraday einen Hauptgrund für die Richtigkeit der Ansicht abgibt, daß hiebei keine Wirkung in die Ferne (actio in distans), sondern bloße Fortpflanzung der Wirkung von Theilchen zu Theilchen obwaltet. Sonach erscheinen Leitung und Isolirung nur als äußerste Grade eines gemeinschaftlichen Effectes. Die inducirende Wirkung der Molekel äußert sich rings herum; wird der sie vermittelnde Nichtleiter nach einer gewissen Richtung hin betrachtet, so ist jeder Querschnitt

desselben an Summe der Kräfte jedem andern Querschnitte gleich; diese Kräfte entsprechen dem Betrage der gezwungenen Abweichung der Theilchen von dem natürlichen Zustande; hiedurch wird bedingt, was man Spannung nennt: es ist somit der Gesammtbetrag der Spannung in jedem Querschnitte derselbe. Die Wirkung auf die Entfernung hin wird geschwächt in dem Maße, als mehr Theilchen an der Kraft Antheil nehmen. Die Spannung steigt um so höher, je weniger leicht die Mittheilung des polaren Zustandes angeht.

Um ein Bild von der Vorstellung zu geben, die sich Faraday von einem Nichtleiter macht, vergleicht er die Theilchen desselben mit einer Reihe kleiner Magnetnadeln, oder richtiger mit einer Reihe kleiner isolirter Conductoren. Man denke sich z. B. ein Gemenge von Luft oder Terpentinöhl, welche Substanzen Nichtleiter der Elektricität sind, und kleinen kugelförmigen Leitern, wie Schrot, letztere etwas von einander abstehend, um isolirt zu seyn, so kann dieß einen Nichtleiter vorstellen. Befände sich mitten darin ein elektrischer Körper, so würden alle diese kleinen Leiter polar; nach Entladung dieses Körpers würden dieselben in ihren natürlichen Zustand zurückkehren. Der mittelst Vertheilung quer durch solche Theilchen in einer leitenden Masse erregte Zustand würde von entgegengesetzter Art seyn, und dessen Betrag der Kraft des inducirenden Körpers entsprechen. Diese Vertheilung könnte in jeder auch krummen Linie, nach Maßgabe der Lagerung der Theilchen des Nichtleiters hervorgerufen werden. Dächte man sich aber die leitenden Schrote einander näher, oder den Stoff, der die Zwischenräume ausfüllt, dem Uebergange der ganzen Wirkung von einem Theilchen auf das andere minder widerstehend, so könnte dieß ein Bild von einem Elektricitätsleiter abgeben.

85. Es ist noch nicht an der Zeit, über die so kürzlich erst in etwas vollständigerer Entwicklung von ihrem Urheber vor den Richterstuhl des Publicums gebrachte Faraday'sche Elektricitätstheorie ein erschöpfendes Urtheil zu fällen; sie bietet aber so reichlichen Stoff zum Nachdenken dar, und schließt sich so gut an die Erscheinungen an, welche im Verfolge der Elektricitätslehre zu besprechen seyn werden, daß sie in einem Buche von der Tendenz des gegenwärtigen um so weniger übergangen werden durfte, als der Grundgedanke derselben ganz naturgemäß zu seyn scheint, wenn gleich im Detail manches anders einzukleiden seyn möchte. Folgende Bemerkungen werden vorläufig zur Feststellung des Gesichtspunctes der Beurtheilung des elektrostatischen Theiles derselben dienen können. Daß ein Magnet wie ein Inbegriff polar erregter Theilchen wirkt, ist keine willkürliche Voraussetzung, sondern eine Thatsache (vergl. 11); es ist daher wenigstens der Analogie gemäß, ein Gleiches auch bei den elektrischen Wirkungen zu vermuthen. Bezüglich der Inductionsphänomene jedoch führt die Faraday'sche Annahme einer bloßen Action von Theilchen auf benachbarte Theilchen zu keiner Erklärung einer elektrostatischen Erscheinung, von der sich nicht erwarten ließe, daß sie den Principien der älteren Theorie, so wie sie Poisson in Anwendung gebracht hat, untergeordnet werden könne, den Einfluß des Mediums auf den Hergang der Vertheilung mitgerechnet, da kein Grund vorliegt, die Theilnahme des

letzteren daran auszuschließen. Doch stehen der Ausführung des Calculs hier noch manche Schwierigkeiten im Wege, welche reichlichen Stoff zu künftigen Bemühungen der Mathematiker enthalten.

Zweites Kapitel.

Elektrisirmaschine und auf elektrischer Spannung beruhende Apparate.

86. Die im vorhergehenden Kapitel erörterten Fundamentalgesetze der Elektricitätslehre ließen sich mit höchst einfachen Mitteln demonstriren. Eine geriebene Glas- oder Siegellackstange lieferte die zu den Versuchen nöthige Elektricität in hinreichender Menge. Doch aber ist es interessant, die merkwürdige Naturkraft, welche sich im Blitze in ihrer vollsten Macht zeigt, in einem durch unsere Mittel zu erschwingenden Grade von Energie zu handhaben. Die Reibung ist unter allen bekannten Elektricitätsquellen immer das geeignetste Mittel, einen Zustand kräftiger elektrischer Spannung hervorzurufen. Es handelt sich nur darum, dieses mit einer angemessenen Ausgiebigkeit ins Werk zu setzen. Vor allem muß bemerkt werden, daß von zwei an einander geriebenen Körpern stets der eine positiv, der andere negativ elektrisch wird. Um viel Elektricität zu erhalten, muß aber die Wahl der sich reibenden Körper zweckmäßig getroffen werden, und das Reiben selbst stark und anhaltend seyn. Zu dessen Ende nimmt man am besten einen guten und einen schlechten Leiter, und bedient sich einer eigenen mechanischen Vorrichtung, an der man überdieß noch durch einen eigens dazu bestimmten Bestandtheil die gewonnene Elektricität ansammelt. Auf diesem Princip beruht die Einrichtung der sogenannten Elektrisirmaschine, welche daher aus einem Körper, der gerieben wird, aus einem andern, der zum Reiben desselben dient, und aus einem besonderen Theile zum Auffangen der erregten Elektricität besteht. Der zu reibende Körper wird so eingerichtet, daß man ihn um eine feste Axe drehen kann, und hat deßhalb die Form einer Scheibe oder eines Cylinders, oft sogar, jedoch minder gut, jene einer Kugel oder einer Glocke. Der Körper, welcher gerieben wird, das Reibzeug, wird mittelst Federn an jenen angedrückt. Die entwickelte Elektricität wird in einem eigenen, gut leitenden, wohl abgerundeten und isolirten Körper, dem Conductor, gesammelt.

Der geriebene Körper besteht meistens aus Glas, wiewohl er an älteren Maschinen auch aus Porcellan, Schwefel, Seidenzeug, Holz etc. angefertigt wurde; er hat meistens die Gestalt einer Scheibe, weil sich diese an das Reibzeug am besten anlegt und demselben auch die größte Fläche darbietet. Das Reibzeug ist ein ledernes Kissen, welches mit einem Amalgam überstrichen wird, das am besten aus 1 Theile Zinn, 1 Th. Zink und 2 Th. Quecksilber besteht, und das Kienmayer'sche Amalgam heißt; doch soll auch Musivgold (Schwefelzinn) oder geschabter Graphit eine gute Wirkung thun. Meistens besteht das Kissen ganz aus Leder oder ist mit Haaren oder gar mit Metallspänen aus-

gestopft; manche ziehen es aber vor, das Reibzeug gerade nur aus einem Bretchen bestehen zu lassen, das mit glattem weichen Leder überzogen ist. Solcher Reibzeuge braucht man bei einer Scheibenmaschine vier: sie werden mit zwei- oder mehrfachen Flügeln aus Wachstaffet versehen, die sich an das Glas anlegen und es bis zu der Stelle bedecken, wo die Elektricität an den Conductor abgegeben wird. Soll im Glase viel Elektricität frei werden, so muß man die des Reibzeuges in die Erde ableiten, damit sie nicht jene des Glases durch ihre Anziehungskraft binde; darum werden auch die Reibzeuge leitend mit der Erde verbunden. Es ist aber gut, sie auch zum Isoliren einzurichten, damit man auch aus ihnen die Elektricität sammeln, und so an einer Maschine beide Elektricitäten erhalten könne. Der Conductor wird aus Messingblech oder aus Packfong verfertiget, er kann aber auch aus Holz bestehen, das mit Zinnfolie überzogen ist. Fig. 217 stellt eine Scheibenmaschine vor, in welcher A die Scheibe, B das Reibzeug, C der Conductor ist. (Gren's Journ. 4. 3. Bohnenberger's Beschreibung einiger Elektrisirmaschinen. Stuttgart, 1783.)

87. Zur Beurtheilung der elektrischen Spannung (Ladung) des Conductors dient Henley's Elektroskop (Fig. 218). Dieses besteht aus einem zarten Holzstängelchen, das an einem Ende eine kleine Korkkugel trägt, am andern aber am Centrum eines getheilten Halbkreises so befestiget ist, daß es im Falle der Elektrisirung von der Säule, die das Ganze trägt, in einer mit der Ebene des Gradbogens parallelen Ebene abgestoßen werden, und man den Abstoßungswinkel messen kann. Dieses Instrument wird in der Regel am äußersten Ende des Conductors jeder Elektrisirmaschine angebracht, und bildet demnach gleichsam einen Bestandtheil dieses Apparates.

88. Die Kraft einer Elektrisirmaschine hängt ab von den Dimensionen, der Härte und Glätte des geriebenen Körpers, von dem gleichförmigen, an keiner Stelle unterbrochenen Anschließen der Reibzeuge an den geriebenen Körper und von ihrer gehörigen Größe, von der Güte des Amalgams und seiner gleichförmigen Vertheilung, von der Dicke und isolirenden Kraft der Taffetflügel an den Reibzeugen, von der gehörigen Größe und Abrundung des Conductors, und endlich von der gehörigen Isolirung aller Theile, welche die Elektricität aufzunehmen bestimmt sind.

An einer guten Elektrisirmaschine lassen sich die vorhin erwähnten Erscheinungen, welche sich auf das Daseyn der Elektricität, das Verhalten guter und schlechter Leiter derselben, die Verschiedenheit der positiven und negativen Elektricität, und ihr gleichzeitiges Auftreten beziehen, leicht und sehr augenscheinlich hervorbringen. So wie man die Scheibe dreht, geht die Elektricität von ihr in den Conductor über, und sammelt sich in demselben an. Bringt man einen leichten Körper in dessen Nähe, so wird er erst angezogen, und sobald er den Conductor berührt hat, wieder abgestoßen. Dadurch, daß diese Anziehung rings um den Conductor in einer oft sehr bedeutenden Entfernung herrscht, gibt sich die Ausdehnung seiner elektrischen Atmosphäre zu erkennen. Nähert man dem geladenen Conductor einen guten Leiter, z. B. den Knöchel eines Fingers allmälig, so fällt das Henley'sche Elektroskop, es scheint die Ladung des Conductors abgenommen zu haben; entfernt man sich wieder, so nimmt es bei günstigen äußern

Umständen, wozu vornehmlich Trockenheit der Luft zu zählen ist, seinen früheren Stand wieder ein. Nimmt man als den Leiter, den man dem Conductor nähert, eine isolirte, gleichfalls mit einem Henley'schen Elektroskope versehene Metallkugel, so kann man an dieser die vertheilende oder inducirende Einwirkung des Conductors wahrnehmen. War die ursprüngliche Kugel im natürlichen Zustande, so steigt ihr Elektroskop; ist ihr vorher die mit jener des Conductors gleichnamige Elektricität mitgetheilt worden, so steigt ihr Elektroskop noch mehr; hat sie entgegengesetzte Elektricität empfangen, so fällt es. Daß hier nicht etwa die Elektricität des Conductors, die sich mit der Vertheilung der natürlichen Elektricität des genäherten Leiters beschäftigt, dadurch so gebunden wird, daß sie, wie einige Physiker angenommen haben, die Fähigkeit einbüßt, gleichzeitig auf das Elektroskop zu wirken, sondern daß hier eine zusammengesetzte Action beider Elektricitäten, der des Conductors und der durch Induction angesammelten des Leiters Statt findet, erhellet aus den oben entwickelten elektrostatischen Principien hinlänglich. Nähert sich der dem Conductor dargebotene Leiter bis auf eine gewisse Distanz (Schlagweite), so geht ein Funke in denselben über. Steht eine mit dem Conductor leitend verbundene Person auf einem mit Glasfüßen versehenen Brete (Isolirschemmel), so sammelt sich die Electricität in ihr, und man kann ihr, wie vorhin dem Conductor, an jedem Theile des Körpers Funken entziehen; ihre Haare, die ebenfalls Elektricität angenommen haben, sträuben sich, und gehen büschelförmig aus einander. Isolirt man das Reibzeug so kann man von diesem eben so wie vorhin von der Scheibe, Elektricität erhalten, doch ist sie jener des Conductors entgegengesetzt. Verbindet man Reibzeug und Conductor mit einander, so zeigt sich keine Spur einer frei gewordenen Elektricität, so stark und rasch man auch die Scheibe drehen, und so wirksam die Maschine auch sonst seyn mag In diesem Falle stellt sich am Conductor und Reibzeug ein elektrischer Strom her, dessen Phänomene von jenen der Spannung, von welchen bisher allein die Rede war, ganz verschieden sind Der elektrische Funke selbst ist eine Aeußerung der Störung des elektrischen Gleichgewichtes oder der strömenden Elektricität, wovon später ausführlicher die Rede seyn wird.

Auf den Erscheinungen der elektrischen Anziehung an einer Elektrisirmaschine beruhen eine Menge elektrischer Spielwerke, z. B. die elektrische Spinne, der elektr. Tanz, das elektr. Glockenspiel, der elektr. Hagel, das elektr. Vogelnest ꝛc. Auf eine artige Weise läßt sich die Verschiedenheit der elektrischen Zustände recht augenscheinlich darstellen, wenn man auf einen glatten Harzkuchen eine leitende Platte setzt, und in diese einmal vom Conductor, das andere Mal vom Reibzeuge Funken gehen läßt (auch die später zu beschreibende Leidnerflasche kann dazu bequem dienen). Hebt man die Platte ab, und überstreut man die von ihr berührte Stelle des Harzkuchens mit Schwefel oder Mennigpulver, so ordnen sich die Theilchen desselben zu merkwürdigen Figuren, die man nach ihrem Entdecker Lichtenbergische Figuren nennt. Die von der positiven Elektricität herrührende hat ein strahliges Aussehen, was der durch negative Elektricität entstandenen Figur gänzlich mangelt, die aus rundlichen Formen besteht. Dieser Charakter zeigt sich schon an der Wirkung eines einzelnen Funkens auf die Harzfläche. *(De nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi, auct. J. C. Lichtenberg. Gottingae 1778.)*

89. Mit der Elektrisirmaschine steht ein zur Erzielung noch kräftigerer Spannungserscheinungen, als diese unmittelbar gewähren kann,

dienender Apparat, die elektrische Flasche oder Batterie in naher Verbindung; auf denselben Principien wie diese beruht ein Surrogat der Elektrisirmaschine, der Elektrophor, und ein Mittel, schwache Anzeigen von elektrischer Spannung, die selbst der directen Anzeige der Elektroskope entschlüpfen, wahrnehmbar zu machen. Daher hier die genannten Apparate mit einander betrachtet werden.

90. Wenn man eine dünne Glastafel auf beiden Seiten mit Zinnfolie belegt (armirt), so daß nur ein etwa zwei Finger breiter Rand an beiden Seiten frei bleibt, den man zur Abhaltung der Feuchtigkeit mit einer Auflösung von Siegellack in Weingeist überstreicht, so hat man diejenige Vorrichtung, welche Franklin'sche Tafel genannt wird. Es heiße der Bequemlichkeit der Rede wegen die Belegung auf der einen Seite A, die auf der andern B, die damit unmittelbar in Berührung stehenden Glasschichten aber a und b. Theilt man der Belegung A eine gewisse Elektricität, z. B. + E mit, so wird dadurch auch, weil die leitende Belegung der Elektricität sich auszubreiten gestattet, das Glas an allen Punkten, in welchen es mit der Belegung in Berührung steht, bis auf eine gewisse geringe Tiefe, d. h. es wird die Glasschichte a elektrisirt. Diese Elektricität zersetzt die natürliche Elektricität (± E), welche in der gegenüber stehenden Belegung B enthalten ist, sehr leicht, da diese Belegung der Bewegung der entgegengesetzten Elektricität kein merkliches Hinderniß in den Weg legt, — E wird angezogen, + E abgestoßen. Erstere, nämlich — E, wird auch dem der Belegung anliegenden Glase b bis auf eine geringe Tiefe mitgetheilt, oder was dasselbe heißt, es wird durch die leitende Belegung die Zersetzung der natürlichen Elektricität der Glasfläche b möglich; letztere, nämlich die zurückgestoßene + E, wirkt, so lange B isolirt ist, durch ihre Verwandtschaft zur — E dem von der Fläche A ausgehenden, die Zersetzung anstrebenden Einflusse entgegen, fließt aber, wenn die Fläche B nicht isolirt ist, in den Boden ab, wodurch eine reichlichere Aufnahme sowohl von — E in die Glasschichte b, als auch in Folge dessen von + E in die Glasschichte a möglich wird. Die Tafel heißt in diesem Zustande geladen. Die den Glasflächen a und b beigebrachten entgegengesetzten Elektricitäten binden sich gegenseitig; ihrer Vereinigung steht das Glas als Nichtleiter entgegen. Setzt man aber die Belegungen A und B mit einander in leitende Verbindung, so erfolgt Vereinigung der + E und — E. Man sagt dann, die Tafel werde entladen.

Von dem Abfließen der + E aus B beim Laden der Tafel kann man sich leicht überzeugen, wenn man die Belegung B isolirt und ihr dann einen guten Leiter nähert; denn da sieht man, während die andere Fläche A elektrisirt wird, Funken übergehen, mit denen man sogar eine zweite ähnliche Tafel laden kann. Daß bei diesem Verfahren das Glas wirklich geladen werde, und daß man die Belegung nur brauche, um ihm die Elektricität auf einer Seite leicht mitzutheilen, auf der andern sie leicht abzuleiten, lehrt folgender Versuch: Man nehme eine dünne Glastafel, armire sie statt mit Zinnfolie mit Metallplatten, und lade sie. Nimmt man hierauf mittelst isolirender Hand-

griffe die Platten von der Glastafel weg, und berührt sie mit dem Finger, damit sie die Elektricität verlieren; so lehrt die Erfahrung, daß, sobald man diese Platten wieder als Armatur auf die Glastafel gibt, die indeß unberührt geblieben ist, dieselbe geladen erscheine, und zwar nicht bloß an den beiden äußersten Flächen, sondern bis auf eine gewisse, wenn auch geringe Tiefe ins Innere des Glases hinein. Denn wie könnte es sonst kommen, daß eine solche Tafel, nachdem man sie durch einen beide Belegungen leitend verbindenden Körper entladen und ganz ohne Elektricität befunden hat, nach einiger Zeit, wenn die Belegungen isolirt gestanden, wieder eine Ladung annimmt. Die eine Belegung, welche mit der Elektricitätsquelle in Verbindung gesetzt wird, hat bloß den Zweck, dem Glase Elektricität zuzuführen; sie würde aber wenig Elektricität aufnehmen können, wenn nicht ein guter Theil derselben von der entgegengesetzten der andern Glasfläche gebunden würde. Diese entgegengesetzte würde aber nicht frei werden, wenn nicht jene Elektricität, durch welche sie im natürlichen Zustande gebunden war, in den Boden abfließen könnte, und dieses Abfließen vermittelt die zweite Belegung. Man kann statt Glas eine dünne Tafel von jedem andern schlecht leitenden Körper brauchen. Ein Glimmerblatt wirkt äußerst kräftig.

91. Eine Flasche, die in- und auswendig mit Metall besetzt ist, wie eine Franklin'sche Tafel, bis auf einen schmalen Streifen am oberen Rande, stellt eine Leidnerflasche vor. Gegenwärtig gibt man ihr folgende Einrichtung: Ein dünnes Zuckerglas oder ein dünner Glassturz in umgekehrter Stellung wird in- und auswendig mit Zinnfolie so belegt, daß nur ein zollbreiter Streifen am Rande beiderseits unbelegt bleibt. Diesen bestreicht man, um die Belegungen gut zu isoliren, mit einem Firniß oder mit Siegellack, stellt einen Metalldraht so hinein, daß er den Boden berührt, ein Paar Zoll über das Gefäß heraussteht, und in einen Knopf endet (Fig. 219). Hält man den Knopf der Flasche an den wohl elektrisirten Conductor einer Maschine, während die äußere Belegung in leitender Verbindung mit der Erde steht; so wird die Flasche, wie vorhin die Franklin'sche Tafel, geladen, es erhält die innere Belegung die Elektricität des Conductors, z. B. + E, die äußere die entgegengesetzte (— E), und die Intensität beider kann so weit gesteigert werden, als es der Widerstand des Glases gegen das Bestreben der beiden Elektricitäten, sich zu vereinigen, gestattet. Nach Maßgabe der inneren Ladung einer solchen Flasche geht von der äußeren Belegung Elektricität weg, und die Menge derselben gibt ein gutes Maß für die Menge der der Flasche zugeführten Elektricität, und kann zur Berechnung der Dichte der Elektricität benützt werden.

92. Wenn man mehrere Leidnerflaschen oder Franklin'sche Tafeln so mit einander verbindet, daß alle inneren und alle äußeren Belegungen mit einander in leitender Communication stehen, so erhält man eine elektrische Batterie (Fig. 220). Es ist klar, daß diese geladen wird, wenn man bloß dem Knopfe einer Flasche Elektricität aus dem Conductor der Maschine mittheilt, und daß sie ausgeladen wird, wenn man bloß die innere Belegung einer Flasche mit ihrer äußeren durch einen guten Leiter in Verbindung setzt. Eine Bat-

terie vertritt eigentlich eine große Leidnerflasche, hat aber vor dieser den bedeutenden Vorzug, daß man sie nach Belieben vergrößern und verkleinern kann, indem man neue Flaschen zugibt oder einige von der Communication mit den übrigen ausschließt, endlich wird durch Beschädigung einer Flasche nicht gleich die ganze Batterie unbrauchbar, wie dieses bei einer großen Flasche immer der Fall ist.

Wenn man mehrere Franklin'sche Tafeln oder Leidnerflaschen neben einander stellt, und die eine Belegung der einen mit der andern Belegung der zunächst folgenden in leitende Verbindung setzt; so wird auch das ganze System der Tafeln oder Flaschen geladen werden, wenn man auch nur der einen Belegung der ersteren Elektricität mittheilt; allein die Stärke der Ladung nimmt vom ersten Elemente angefangen ab, und zwar desto schneller, aus je dickerem Glase diese Elemente gemacht sind. Eine solche Zusammenstellung nennt man eine elektrische Säule.

93. Eine geladene Leidnerflasche erscheint immer an der Belegung, der man + E mitgetheilt hat, mit positiver Elektricität, an der entgegengesetzten mit negativer Elektricität, und beide ziehen sich an, binden sich zum Theile, können sich aber wegen der schlechten Leitung des Glases nicht vereinigen. Doch kann ihre Intensität durch Laden so weit gesteigert werden, daß sie sich durch das Glas vereinigen und dasselbe durchbohren. Je dicker das Glas ist, desto schwerer kommt es zu einer solchen Entladung, und es wird selbst die Spannung der beiden Glasflächen bei einerlei Zuleitung der Elektricität desto kleiner seyn, je dicker das Glas ist. Berührt man den Knopf einer Flasche mit dem Finger, so geht ein Funke in denselben über, die Spannung der Flasche vermindert sich, ist aber noch nicht ganz aufgehoben. Zu letzterem braucht es mehrere, oft eine sehr große Zahl von derlei Berührungen. So oft man einer Belegung etwas Elektricität nimmt, läßt auch die andere einen Theil ihrer Elektricität fahren. Die Luft bewirkt diese Ausladung mit der Zeit, wenn auch langsam, von selbst. Doch hat man auch besondere Einrichtungen an Flaschen, um ihre Ausladung durch die Luft zu verzögern (Sperrflaschen).

94. Die Wirkungen, welche die Entladung einer Leidnerflasche oder gar einer elektrischen Batterie zur Folge hat, zumal einer von größeren Dimensionen und durch eine kräftige Elektrisirmaschine geladenen, sind ihrer Stärke wegen in hohem Grade überraschend, und geben zu vielen interessanten und glänzenden Versuchen Veranlassung. Nähert man dem Knopfe einer geladenen Flasche oder Batterie einen mit der äußeren Belegung in Berührung stehenden Draht, so entsteht bei der Entladung ein hellleuchtender Funke mit einem eigenthümlichen Schalle, der bis zur Stärke eines förmlichen Knalles gehen kann. Die größte Distanz, in welcher dabei das Drahtende vom Knopfe zur Entladung stehen darf, bestimmt die Schlagweite der Flasche oder Batterie. Ist diese Distanz kleiner als die größte Schlagweite, so entladet sich die Flasche schon während des Ladens (Lane'sche Flasche), und man hat durch Regulirung dieser Distanz ein Mittel, der Entladung eine constante Stärke zu geben. Ist der Draht dünn, so wird

er glühend und zerstiebt in Funken. Faßt man die äußere Belegung mit der einen Hand, und nähert man die andere dem Knopfe, so fühlt man bei der Entladung eine Erschütterung in den Armgelenken (elektrischer Schlag), deren Stärke von der Größe der Ladung abhängt und bei einer Batterie leicht gefährlich werden kann. Der Schlag einer Batterie tödtet selbst größere Thiere. Dieser Schlag geht durch eine Reihe Personen hindurch, die sich bei den Händen fassen, wenn die äußersten mit den beiden Belegungen einer Flasche in leitende Verbindung gesetzt werden. Auf ähnliche Weise läßt er sich auch in einer beliebigen Richtung durch den Körper eines Menschen leiten. Bietet man ihm zugleich mehrere Wege dar, so theilt er sich unter sie nach Maßgabe ihrer Leitungsfähigkeit. Daher kann man eine geladene Flasche ohne Scheu entladen, wenn man einen Draht von angemessener Dicke hinter seinen Enden mit den Händen faßt und die beiden Belegungen mit den Drahtenden berührt; der bei weitem größte Theil der Ladung geht durch den Draht, und was durch den Körper geht, ist unmerklich. Der Leitungsfähigkeit des Bodens und der dadurch eingeleiteten Theilung des Schlages ist es zuzuschreiben, wenn bei einer sehr langen Kette von Personen die in der Mitte befindlichen den Schlag nicht fühlen, während die äußersten ihn erhalten. Merkwürdig ist es, daß während schon der einfache Funke einer Elektrisirmaschine Knallluft und Schwefeläther, der einer kleinen Leidnerflasche Colophoniumstaub entzündet, der Schlag einer starken Batterie dem Schießpulver nichts anhaben kann, wenn man nicht ein Hinderniß in den Schließungskreis der Batterie, z. B. eine nasse Seidenschnur einschaltet, wodurch die Entladung verzögert wird. Bemerkenswerth sind noch die mechanischen Wirkungen der Entladung einer kräftigen Batterie. Leitet man den Schlag mittelst zweier etwas von einander abstehenden Drähte durch die Aushöhlung eines kleinen Mörsers, den man mit einem Korkpfropfe verschlossen hat, so wird der Pfropf mit Gewalt herausgetrieben. Eine mit Wasser gefüllte Glasröhre, in welche beiderseits Drähte, bis auf einen Abstand von etwa $1/2$ Zoll eingesetzt sind, wird unter gleichen Umständen gesprengt. Dasselbe geschieht sogar mit einer Glaskugel, deren Wände 1 Zoll dick sind und in welcher ein Wassertropfen eingeschlossen ist, wenn die Entladung ihren Weg durch diesen nimmt. Papier, Holz, Glas &c. in den Schließungskreis einer Batterie gebracht, werden durchbohrt. Um die Entladung mit Bequemlichkeit zu verrichten und dem elektrischen Schlage die gewünschte Richtung zu geben, dient der sogenannte Henley'sche Auslader (Fig. 221). Auch eine Vorrichtung, aus zwei starken, an den einen Enden mit Kugeln versehenen Drähten bestehend, deren andere Enden um ein Scharnier beweglich sind, woran eine gläserne Handhabe angebracht ist (Fig. 222), um damit den Strom zu führen, den Ladungsrückstand geladener Batterien (der oft auch nach zweimaliger Entladung noch sehr bedeutend ist) gefahrlos wegzuschaffen u. dgl., wird Auslader genannt. Uebrigens sind die Wirkungen einer geladenen Batterie von jenen des Funkens aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine nur dem Grade nach

verschieden, und es kann letzterer für sich allein schon namhafte Effekte hervorbringen.

Durch den Batteriefunken können selbst ponderable Stoffe in einem ein zertheilten Zustande von einem Orte an den andern übertragen werden. So hat Fusinieri bemerkt, daß eine Silberscheibe, die zwischen einer silbernen und einer goldenen Kugel stand, als die Entladung einer Batterie durch diese Körper geführt wurde, auf jeder Seite einen vergoldeten Fleck bekam. Auch eigentliche chemische Wirkungen werden durch solche elektrische Entladungen hervorgebracht. An der Stelle, wo ein kräftiger elektrischer Funke Statt findet, verbindet sich der Stickstoff der atm. Luft mit dem Sauerstoffe zu Salpetersäure, daher die Röthung der Lakmustinktur, womit ein Papier befeuchtet ist, wenn man eine Reihe von Funken aus einer kräftigen Elektrisirmaschine darüber hinweggehen läßt. Desgleichen werden zusammengesetzte Stoffe durch einen solchen elektrischen Strom zersetzt. Doch wird es angemessener seyn, hievon erst an einer späteren Stelle im Zusammenhange mit andern ähnlichen Phänomenen der Elektricität zu handeln.

95. Ueber die Spannung, welche die Ladung einer Batterie zeigt, hat Rieß genaue Versuche angestellt. Die Ladungsgröße der Batterie wurde dadurch bestimmt, daß er selbe isolirte, und die Anzahl der Entladungen, welche die von der äußeren Belegung in eine Lane'sche Flasche geführte Elektricität letzterer beibrachte, als Maß der Elektricitätsmenge ansah, welche die Batterie vom Conductor der Elektrisirmaschine empfing. Die Ladung der Batterie durch die geladene Oberfläche dividirt, gibt die Dichte der angehäuften Elektricität. Rieß fand die Abstoßung einer der Innenseite der Batterie (dem Knopfe) anliegenden Kugel, eben so die Anziehung einer entfernten, nicht isolirten Kugel durch die Innenseite der Batterie dem Quadrate der Dichte; die Abstoßung einer entfernt stehenden elektrischen Kugel und die Schlagweite der Batterie der einfachen Dichte der angehäuften Elektricität proportionirt. Letztere ist gänzlich unabhängig von der Beschaffenheit des Schließungsbogens. Die Elektricitätsmenge, welche bei Entladung der Batterie in der Schlagweite verschwindet, ist merklich dieselbe, der Schließungsbogen mag aus was immer für Metalldrähten bestehen. Der Rückstand der Ladung wurde durch Messung der Elektricitätsmenge ausgemittelt, welche nothwendig war, die Batterie auf den früheren Grad zu laden. (Pogg. Ann. 40. 321; 3. 1. Dove's Repert. 2. 36.)

96. Daß die Entladung eines in elektrischem Zustande befindlichen Körpers auf der Fortpflanzung der elektrischen Action längs des Leiters beruhe, mithin die Vorstellung der Bewegung davon unzertrennlich sey, hat man stets vorausgesetzt, ohne im Besitze eines direkten Beweises für diese Annahme zu seyn. Schon im Jahre 1747 suchte Watson die Geschwindigkeit der Elektricität durch Versuche nachzuweisen, er konnte aber selbst an einer 4 engl. Meilen langen Leitung keine Spur einer successiven Fortpflanzung der Elektricität wahrnehmen. Neuestens hat Wheatstone alle Zweifel hierüber gelöst, indem er fand, daß bei der Entladung einer Leidnerflasche durch einen langen Draht, der sowohl nächst den beiden Belegungen, wie auch in

der Mitte unterbrochen war, die Funken an den Enden gleichzeitig, hingegen der in der Mitte des Drahtes später als diese erschien. Das sinnreiche Verfahren Wheatstone's erlaubte sogar die Geschwindigkeit der Elektricität zu beurtheilen. Es ergab sich, daß bei der Entladung einer Leidnerflasche durch einen Kupferdraht diese Geschwindigkeit auf 288000 engl. Meilen in einer Secunde angeschlagen werden könne.

Wheatstone stellte die Unterbrechungen des Leitungsdrahtes, woran die Zeitpuncte des Eintretens des Entladungsfunkens beobachtet werden sollten, in eine gerade Linie, und ließ einen kleinen ebenen Spiegel sich um eine dieser Linie parallele Axe sehr schnell drehen. Durch ein mit dem Spiegel zugleich sich drehendes Metallstück wurde die Entladung der Leidnerflasche in dem Augenblicke bewerkstelliget, in welchem der Spiegel in einer solchen Lage sich befand, daß die Unterbrechungen des Leitungsdrahtes darin gesehen werden konnten. Da aber das Bild eines Gegenstandes, das man in einem Spiegel sieht, sich verschiebt, wenn sich der Spiegel dreht, und zwar in einer gegen die Axe des Spiegels senkrechten Richtung, so mußte jeder Funke an den genannten Stellen um so mehr verlängert erscheinen, je länger er dauerte und je schneller der Spiegel sich bewegte, und wenn zwei dieser Funken nicht gleichzeitig, sondern nach einander sich einstellten, so mußte das Bild des späteren gegen jenes des früheren sich in dem genannten Verhältnisse nach der Richtung der Drehung des Spiegels verschoben zeigen. Aus optischen Gründen folgt (siehe die Lehre vom Lichte), daß das Zeitintervall zwischen dem Erscheinen der zwei Funken sich zur Dauer einer Umdrehung des Spiegels verhält, wie die Hälfte der Verschiebung des Bildes im Bogenmaße zu 360°. Nach Wheatstone's Beobachtung zeigten die den Drahtenden nächst den Belegungen entsprechenden Funken keine merkliche Verschiebung; der Funke in der Mitte aber trug das Merkmal der Verspätung an sich. Bei einer Drahtlänge von $1/2$ engl. Meile und 800 Umläufen des Spiegels in der Secunde betrug die Verschiebung $1/2$ Grad; es war sonach die Zeit, welche die Elektricität brauchte, um $1/4$ engl. Meile zurückzulegen $= \frac{\frac{1}{2}\text{ Sec.}}{2.800.360}$, was auf eine Geschwindigkeit von $800.360 = 288000$ engl. Meilen in 1 Secunde schließen läßt.

97. Wheatstone's so eben erklärter schöner Versuch beweiset zugleich, daß die Entladung einer Leidnerflasche von beiden Belegungen ausgeht, also die Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten in zwei gegen einander sich bewegenden Strömen geschieht, in sofern man nämlich hier unter Strom die Fortpflanzung einer Wirkung nach einer gewissen Richtung versteht. Handelte es sich um die Wahl zwischen der Hypothese der Unitarier und jener der Dualisten (81), so müßte dieser Umstand als ein Grund für letztere gelten. Es scheint aber sehr unwahrscheinlich, daß in dem Verbindungsdrahte der Belegungen ein wirkliches Fortströmen eines materiellen Stoffes obwalte, sondern man wird hier gewiß das Fortschreiten eines Veränderungsactes des Zustandes der Körpertheilchen viel natürlicher finden. In sofern dürfte also eine Ansicht, der ähnliche Principien, wie der Hypothese Faraday's (84) zum Grunde liegen, als naturgemäßer erscheinen. Welche Bewandtniß es nun auch immer damit haben möge,

so nöthiget uns diese Thatsache, wenn von der Ausgleichung zweier entgegengesetzten Elektricitäten die Rede ist, zwischen dem Strome, der von der Seite herkommt, wo die positive Elektricität herrscht, und dem von der negativen Seite ausgehenden einen Unterschied zu machen. Ersterer soll der positive, der andere der negative Strom heißen. Da es aber oft unbequem ist, von beiden Strömen zu reden, und, wenn man sich bloß auf die Betrachtung eines derselben beschränkt, den ihn bezeichnenden Beisatz stets im Munde zu führen, so setzen wir für alles Folgende im Einklange mit dem herrschenden Sprachgebrauche fest, daß, wenn von elektrischem Strome ohne Beisatz gesprochen wird, immer nur der positive Strom gemeint sey.

Rieß zeigte auf eine sehr scharfsinnige Weise, daß die Elektricität der Batterie bei der Entladung in der Schlagweite sich successiv ausgleicht. Es ergibt sich nämlich, daß bei Einschaltung einer Wassersäule in den Schließungsbogen sich die Schlagweite nicht ändert, aber ein größerer Rückstand der Ladung in der Batterie zurückbleibt. Dieß konnte nur durch eine Einwirkung des Wassers nach dem Ausbruche der Entladung (wo die Ladung der Batterie geringer wurde) geschehen. Daß dennoch ein bedeutender Theil der Elektricität der Batterie sich entladen kann, hat seinen Grund in der Verdünnung der Luft, während sie der Funke durchbricht, wodurch die Schlagweite sich vergrößert, also die Entladung der Batterie noch möglich wird, selbst wenn ihre Ladung herabsinkt. (Pogg. Ann. 53. 14.)

98. Ein äußerst wichtiges Instrument ist der von Wilke erfundene und von Volta verbesserte Elektrophor (F. 223). Dieser besteht aus einem glatten Harzkuchen, der in eine gut leitende Form gegossen wird, und aus einem wohl abgerundeten, ebenfalls leitenden Deckel von etwas geringeren Dimensionen als der Harzkuchen ist, und welcher mittelst seidener Schnüre isolirt werden kann. Wird der Harzkuchen mit einem Fuchsschwanze oder mit Katzenfell gerieben, so wird er negativ elektrisch. In diesem Zustande lassen sich folgende Erscheinungen hervorbringen: 1) Untersucht man den auf dem Kuchen liegenden Deckel, so zeigt er oben die Elektricität des Kuchens (— E), unten die entgegengesetzte (+ E). 2) Stellt man den Deckel auf den Kuchen und hebt ihn wieder auf, ohne ihn berührt zu haben, so gibt er kein Zeichen der Elektricität. 3) Berührt man ihn, während er auf dem Kuchen liegt, mit dem Finger, so bemerkt man einen kleinen Funken, und der dann aufgehobene Deckel zeigt + E. 4) Berührt man nach Auflegen des Deckels mit einem Finger die Form, mit dem andern den Deckel, so erhalt man einen Stoß. Der dann aufgehobene Deckel verhält sich wie in 3). 5) Richtet man den Elektrophor so ein, daß der Kuchen aus der Form genommen werden kann; so findet man am Kuchen, so lange der Deckel aufliegt, unten + E. Die Form zeigt oben — E, unten + E. 6) Alle diese Erscheinungen erfolgen, die Form mag isolirt seyn oder nicht, nur mit dem Unterschiede, daß die isolirte Form nach dem Berühren in 4) und nach der Aufhebung des Deckels — E zeigt, und daher bei der Berührung einen Funken gibt.

Die Wirksamkeit eines Elektrophors hängt von der Größe des Kuchens, von seiner Härte, Glätte und Dichte, und von der Form und Beschaffenheit des Deckels ab. Man erhöht sie durch Vergrößerung, Pressen, Abschleifen und Poliren der Harzmasse, durch Wahl eines Deckels, der ohne Spitzen und eben ist, und sich gut an die Harzfläche anschließt. Die beste Harzmasse zu einem Elektrophor erhält man aus 10 Theilen Gummilack, 3 Th. Harz, 2 Th venet. Terpentin, 2 Th. Wachs und $\frac{1}{2}$ Th. Pech. Man kann statt des Harzkuchens auch eine Glastafel nehmen, allein diese hält die Elektricität nicht lange genug. Weber ersetzte ihn gar durch eine Luftschichte. Wodurch man ihn aber immer ersetzen mag, so bleiben doch die Erscheinungen dieselben, mit der einzigen Ausnahme, daß man, wenn der elektrische Körper + E hat, in allen erwähnten Phänomenen auch statt + E, — E und umgekehrt erhält. Man bedient sich des Elektrophors mit Vortheil zu Zündmaschinen; man kann auch Flaschen damit laden. Als Reibzeug braucht man am besten Fuchsschwänze, Katzen-, Hasen- oder Marderfelle und trockenen warmen Flanell.

99. Alle diese Erscheinungen des Elektrophors sind Folgen der Elektrisirung durch Vertheilung. Die — E des Kuchens bewirkt im Deckel eine Zerlegung der ± E, sie zieht + E an, stoßt — E ab; daher die Erscheinungen 1, 2, 3. Im Kuchen selbst erzeugt — E der oberen Fläche unten + E. Diese zersetzt wieder ± E der Form, zieht — E an und stoßt + E ab; daher die Phänomene 4, 5, 6. (Hummel in Zeitschr. n. F. 2. 213.) Der Kuchen des Elektrophors mit seinen beiden Belegungen stellt eine Franklin'sche Tafel vor, und kann wie diese geladen werden. Theilt man dem Deckel — E mit, so erhält auch die obere Fläche des Kuchens — E; entladet man hierauf den Apparat, so verliert der Kuchen nicht alle — E, und nun beginnt die eigentliche Wirkung des Elektrophors. Hieraus erhellet die Beziehung des Elektrophors zur Franklin'schen Tafel, und wie man letztere in einen Elektrophor umstalten kann.

100. Der Condensator, ein von Volta zuerst bekannt gemachtes Instrument, dient schwache Elektricitäten zu entdecken, die mittelst eines gewöhnlichen Elektroskops nicht mehr entdeckt werden können. Er besteht in seiner besten Einrichtung aus zwei eben geschliffenen runden Metallplatten, wovon die untere auf einem isolirten Fuße ruht, während die obere mit einem isolirenden Handgriffe versehen ist. Die zwei einander zugewendeten Seiten der Metallplatten sind mit einer sehr dünnen Firnißschichte überzogen. Sehr zweckmäßig ist es, die Collectorplatte eines empfindlichen Elektroskops gleich als Bodenplatte des Condensators dienen zu lassen. Man pflegt ihr auch an der Seite ein vorstehendes, in einen Knopf sich endigendes Drahtstück anzusetzen, Fig. 224. Wir wollen in den folgenden Betrachtungen der Kürze wegen die isolirte Oberplatte A, die mit dem Elektroskope verbundene Unterplatte B nennen.

Statt die Metallplatten an den Berührungsflächen durch eine Firnißschichte zu trennen, kann man auch dieselben dadurch isoliren, daß man die Platten sich nicht berühren läßt, sondern auf die Unterplatte kleine Glas- oder Siegellackstückchen gibt, und die Oberplatte darauf setzt. Hier dient die zwischen den Platten befindliche Luftschichte statt

des Firnisses. Man kann statt metallener Platten auch übergoldete Glasplatten anwenden. Früher nahm man zur Unterplatte des Condensators eine Platte aus einem Halbleiter, meistens Marmor, wobei die Firnißschichte an der Oberplatte zwar entbehrlich war, aber das Instrument weit weniger leistete, als bei der jetzt allgemein üblichen oben angegebenen Einrichtung.

101. Beim Gebrauche des Condensators stellt man die zwei Platten A und B auf einander, berührt eine derselben mit dem Finger, während die andere mit jenem Körper in Contact kommt, dessen Elektricität man ersichtlich machen will, und läßt diese Berührung einige Secunden dauern, dann hebt man A am isolirenden Stiele ab, und sieht zu, ob das mit B verbundene Elektroskop Zeichen von Elektricität von sich gibt. Hat man A mit dem Körper berührt, so zeigt das Elektroskop die entgegengesetzte: hat man B mit dem Körper berührt, so zeigt es die gleichnamige Elektricität hinsichtlich jener des Körpers an.

102. Die Wirkung des Condensators wird klar, wenn man sich denselben als eine Franklin'sche Tafel denkt, deren Glasplatte in zwei Theile gespalten ist. In der That stellt jede der zwei Metallplatten eine Armatur, beide sich berührende Harzschichten aber die Glasplatte vor. Bringt man nämlich, während die Platten auf einander ruhen, einen z. B. positiv elektrischen Körper M mit der Platte B des Condensators in Berührung, so wird diese selbst durch Mittheilung elektrisch, nimmt aber, zumal wenn A mit dem Finger berührt wird, von M mehr Elektricität auf, als wenn sie mit A nicht in Berührung stände; denn die mitgetheilte + E zersetzt ± E der Oberplatte, und + E wird abgestoßen, — E angezogen. Letzteres — E ist aber nicht so intensiv als nöthig wäre, um mit dem + E der Platte B den natürlichen Zustand zu begründen, oder der Unterschied in der Intensität beider Elektricitäten ist desto größer, je dicker die Harzschichte ist. Es bindet darum — E von A nicht die ganze Menge + E von B, und es besteht + E der Platte B aus zwei Theilen, einem gebundenen und einem freien. Letzterer ist, wenn A mit dem Finger berührt wird, in Vergleich mit ersterem sehr gering, ihm allein hält die Elektricität des zu untersuchenden Körpers M das Gleichgewicht, und es hat darum die Platte B von M weit mehr Elektricität aufgenommen, als sie hätte aufnehmen können, wenn die Condensatorplatte B allein vorhanden gewesen wäre. Aus dieser Theorie ergibt sich zugleich die Vorsichtsmaßregel bei der Anwendung des Condensators jedesmal vorher zu untersuchen, ob die Firnißschichte auf den Platten nicht durch früheren Gebrauch elektrisch geworden sey, und deßhalb der Condensator elektrophorisch wirke. Cavallo's Collector ist von dem Condensator nicht wesentlich verschieden.

Um sich den Hergang der Sache deutlich vorzustellen, nehme man an, es werde A nicht mit dem Finger berührt, wodurch jede Elektricitätsmenge abfließen kann, sondern nur mit einem isolirten Leiter, den man, so wie er zurückgestoßene + E aufgenommen hat, entfernt, dann entladet, wieder mit A in Contact setzt, und so fort. So wie nun ein Theil der an die Unterplatte B von M abgegebenen + E gebunden ist,

nimmt dieselbe von M wieder neue + E auf, diese zersetzt wieder einen Theil der ± E der Platte A, und dadurch wird wieder ein Theil der + E von B gebunden, und so geht es fort, bis keine Elektricität von M mehr aufgenommen werden kann. Gesetzt, es verhalte sich die der Platte B von M zuerst mitgetheilte $+E = P$ zu der von dieser Elektricität gebundenen $-E = Q$ wie $1 : m$, wo $m < 1$ ist; so hat man $mP = -Q$ oder $mP + Q = 0$. Nun bindet aber wieder $-Q$ der Platte A von + E der Platte B die Quantität $= P'$, für welche man wieder hat $P' : Q = m : 1$ oder $P' + mQ = 0$. Daraus wird aber mittelst der vorhergehenden Gleichung $P' + m^2 P = 0$. Für sich und ohne Einwirkung der Platte A hätte B von M die Elektricitätsmenge $R = P - P'$ aufgenommen, und es ist darum $R = P - P' = (1 - m^2) P$ und $\frac{P}{R} = \frac{1}{1 - m^2}$. Die Größe $\frac{P}{R}$ gibt die condensirende Kraft des Instrumentes an.

103. Die dem Condensator beigebrachte Elektricität kann zur Erzeugung neuer Elektricität dienen; läßt sich diese mit der früher erzeugten vereinigen, so wird erstere dadurch verstärkt. Hierauf beruht Bennet's Duplicator, womit Grade der Elektricität, die selbst nach der einfachen Condensation auf das Elektroskop zu wirken unvermögend sind, bemerklich gemacht werden können. Ohne hier auf die Veränderungen einzugehen, die dieses Instrument durch Nicholson, Bohnenberger und Andere erhalten hat, wird das Princip der Elektricitätsverdopplung, das demselben zum Grunde liegt, durch folgende Darstellung klar werden. Es seyen B und C zwei gleiche, mit Elektroskopen versehene, neben einander stehende Condensator-Unterplatten, und A eine darauf passende, mit dem isolirenden Handgriffe versehene Oberplatte. Man berühre, nachdem man A auf B gesetzt hat, B mit dem Körper, dessen Elektricität, z. B. + E, nachzuweisen ist, und zugleich A mit dem Finger, so wird in B eine gewisse Menge + E durch die in A latent gewordene entsprechende — E gebunden. Man hebe A von B am isolirenden Griffe hinweg, wodurch die — E in A und + E in B frei werden, und setze A auf C, so wird die natürliche Elektricität in C durch die — E der Platte A zersetzt, und wenn man jetzt C mit dem Finger berührt, durch wechselseitiges Binden die — E in A und eine entsprechende Menge von neu entstandener + E in C festgehalten. Bringt man nun C mit B mittelst eines an einem isolirenden Griffe gehaltenen Metallstückes in leitende Verbindung, so geht ein Theil der in B befindlichen freien + E in C über und wirkt auf die Elektricität in A zersetzend, so daß, wenn man A mit dem Finger berührt, fast alle + E aus B in C geführt und gebunden wird, während in A eine entsprechende Menge — E latent wird. Es ist demnach die Menge der in C gebundenen + E, wie auch jene der in A gebundenen — E fast doppelt so groß als früher. Setzt man jetzt wieder A auf B und wiederholt das angegebene Verfahren, d. h. berührt man B mit dem Finger, stellt hierauf eine leitende Verbindung zwischen B und C her, und berührt endlich A mit dem Finger, so ist die Menge der gebundenen + E in B, und der gebundenen — E in A wieder größer und nahe das Vierfache der vori-

gen. So kann man fortfahren und dadurch die gebundene Elektricität der Condensatorplatten nahe auf das 8-, 16-, 32fache u. s. w. steigern, wodurch sich endlich bei dem Abheben von A an dem Elektroskope der Unterplatte Zeichen freier Elektricität zu erkennen geben. (Ueber den Collector und Duplicator s. Gren's Journ. 1. 275. Gilb. Ann. 9. 124; 13. 208; 17. 414; 42. 376.)

Es ist sehr schwierig, selbst einen guten Leiter von aller elektrischen Ladung, die er besitzt, zu befreien. Diese vervielfältigt sich durch das erklärte Verfahren. Daher erfordert der Gebrauch des Duplicators Vorsicht, um nicht zu falschen Resultaten zu gelangen, und Elektricität finden zu wollen, wo keine vorhanden ist.

Obgleich die Anziehungskraft des geriebenen Bernsteines bereits im Alterthume bekannt war, so stammt doch alle unsere Kenntniß der Elektricitätslehre nur aus den letzten zwei, ja eigentlich nur aus dem letzten Jahrhundert. Erst um das Jahr 1600 stellte Gilbert einige Versuche über das Elektrischwerden anderer Körper an, und es vergingen, ungeachtet der Theilnahme von Otto Guerike, Newton, Hawksbee u. A. an diesem Gegenstande, mehr als hundert Jahre bis die Elektricitätslehre den Zustand der ersten Kindheit überschritt. Im J. 1708 machte Well auf den elektrischen Funken aufmerksam; im J. 1729 wurde erst der Unterschied zwischen Isolatoren und Leitern durch Gray, und bald darauf jener zwischen Glas- und Harzelektricität durch Dufay bekannt. Das Jahr 1745 zeichnet sich durch die gleichzeitig von Kleist in Deutschland und Cunäus und Musschenbröck in Holland gemachte Entdeckung der Erscheinungen der verstärkten Elektricität, d. i. der elektrischen Flasche aus; dieser folgte auf dem Fuße die Enthüllung des Herganges der elektrischen Vertheilung durch Canton, Franklin, Aepinus, Wilke. Im J. 1775 gab Volta den Elektrophor, 1783 den Condensator. Die Einführung der Elektrisirmaschine in den physikalischen Apparat verdankt man dem Leipziger Prof. Hausen (1743); die Scheibenmaschine hat man seit 1766, zu welcher Zeit sie von Ramsden in London nach Ingenhouß Angabe zuerst verfertiget wurde. Die Reibungselektricität, auch im Gegensatze mit dem im folgenden Kapitel zu besprechenden Galvanismus, die gemeine Elektricität genannt, wurde im Verlaufe dieses Jahrhunderts nur wenig cultivirt; in unseren Tagen aber haben Rieß und Faraday das Studium der Erscheinungen der Elektrisirmaschine und der elektrischen Batterie wieder aufgenommen,

---

Drittes Kapitel.

Galvanismus, mit besonderer Rücksicht auf die Gesetze des elektrischen Stromes.

104. Im Vorhergehenden wurden vornehmlich die Phänomene der elektrischen Spannung untersucht; die Erscheinungen des elektrischen Stromes, welche sich immer einfinden, wenn der Spannung durch leitende Substanzen ein Weg zur Ausgleichung offen steht, konnten aber nur in der speciellen Form betrachtet werden, in der sie uns die Elektrisirmaschine und die elektrische Batterie darbieten. So wie wir uns zum Behufe des Studiums der Spannung gerade jener Elek-

tricitätsquelle bedienten, welche sich dazu am besten eignet, so werden wir uns hier an die zur Enthüllung der Natur des elektrischen Stromes passendste Quelle wenden. Die Elektrisirmaschine, besonders in Verbindung mit der Batterie, verschafft uns zwar einen energischen elektrischen Strom, aber von nur sehr kurzer Dauer, oder, falls die Elektrisirmaschine in ununterbrochener Bewegung erhalten werden sollte, doch nur von einer Beschaffenheit, welche die wahre Natur dieser Elektricitätsäußerung minder klar hervortreten läßt, daher auch diese in der That erst dann besser erkannt wurde, nachdem die Wirkungen anderer Elektricitätsquellen entdeckt waren. Die Elektricitätsquelle, auf die wir jetzt die Aufmerksamkeit lenken, ist die von Volta auf Veranlassung einer Entdeckung Galvani's zuerst erkannte, weßwegen die aus ihr entspringende Elektricität auch die galvanische oder Volta'sche Elektricität genannt wird; nach den Umständen ihres Entstehens heißt sie auch die Berührungselektricität. Bei Betrachtung der Wirkungen des durch sie erzeugten Stromes wird sich mehrfache Gelegenheit darbieten, auf den Strom der Elektrisirmaschine und elektrischen Batterie einen Rückblick zu thun, und die im vorhergehenden Kapitel darüber vorgetragenen Lehren zu ergänzen.

A. Fundamentalversuche und Volta'sche Kette.

105. Wenn zwei gute Leiter der Elektricität mit einander in Berührung kommen, so werden sie dabei elektrisch, und zwar erhält der eine die positive, der andere die negative Elektricität. Man überzeugt sich von der Richtigkeit dieser Thatsache durch den sogenannten Volta'schen Fundamentalversuch, der auf folgende Arten angestellt werden kann: 1) Man nehme eine 1 — 3 Zoll im Durchmesser haltende, recht glatte Zink- und eine eben so große Kupferplatte, befestige jede derselben an einem isolirenden Handgriffe, fasse beide Platten bei diesem, bringe sie mit einander in Berührung, trenne sie hierauf und übertrage die Elektricität der einen oder der andern an einen Condensator. Dieses Verfahren wiederhole man mehrere Male mit der Vorsicht, diejenige Platte, welche nicht an den Condensator gebracht wurde, ehe man sie mit der andern in eine neue Berührung setzt, zuerst auf den natürlichen Zustand zurückzuführen. Der Condensator zeigt dann deutlich die Elektricität der Platte, und zwar erscheint die Zinkplatte positiv und die Kupferplatte negativ elektrisch. Es versteht sich von selbst, daß, um ein reines Resultat zu erhalten, die Condensatorplatte aus demselben Metalle bestehen muß wie die Platte, deren Elektricität man an erstere überträgt. 2) Man berühre die aus Kupfer bestehende Collectorplatte eines condensirenden Elektroskops einmal mit einem nicht isolirten Stücke Zink. Es könnte auch die Collectorplatte aus Zink bestehen und mit einem Stücke Kupfer berührt werden. Jedenfalls zeigt sich dasselbe Resultat wie oben. 3) Man bediene sich einer Vorrichtung ganz ähnlich einem Condensator mit Elektroskop, nur daß die eine Platte von Kupfer, die andere von Zink ist und der Firnißüberzug fehlt. Hebt man die Oberplatte von der Unterplatte ab,

gleichviel, ob erstere isolirt oder nicht isolirt ist; jedenfalls zeigt sich die oben genannte Art der Elektricität.

Die Anstellung dieser Versuche erfordert ein empfindliches Elektroskop und einige Aufmerksamkeit, weil es sich hier um Nachweisung einer schwachen elektrischen Spannung handelt, deren Entstehen man nach Gutbefinden erklären mag, die man aber nicht läugnen kann. Das später zu erwähnende Bohnenberger'sche Elektroskop eignet sich sehr gut zu genannten Versuchen, da es gleich die Art der Elektricität anzeigt. Sehr leicht kann man auch die Versuche mit dem Duplicator machen. Man überzeugt sich leicht, daß die Elektricität der mit einander in Contact gesetzten Platten nicht durch Reibung, oder Druck, oder Einfluß der Temperatur rc. (denn auch diese zwei letztern Umstände sind Elektricitätsquellen) entstehe. Man kann die beiden Platten an einander löthen, und findet selbe nach beliebig langer Zeit, wenn man nach 2) verfährt, stets elektrisch. Zum Verständniß der Versuche ist noch die Bemerkung wichtig, daß die einander berührenden Platten condensirend auf einander einwirken, wonach die Verschiedenheit des Erfolges bei 1) und 2) und die Nothwendigkeit der öftern Wiederholung des Vorganges nach 1) begreiflich wird. Auch ist es nöthig, den Einfluß der Berührung der Platten mit den Fingern oder mit den Körpern, worauf sie früher lagen u. dgl. in Erwägung zu ziehen. Gute Bemerkungen über alles dieses geben Fechner (Pogg. Ann. 41. 224) und Petrina (Zeitschr. n. F. 5. 511; 6. 38). Aus der Thatsache der Berührungselektricität ergibt sich auch eine wichtige Vorsichtsmaßregel für den Gebrauch des Condensators selbst, damit man nicht einen Körper an sich für elektrisch halte, der erst bei der Berührung die Condensatorplatte dazu macht.

106. Nicht bloß Zink und Kupfer, sondern alle Metalle nebst andern festen Körpern, ja sehr viele tropfbare Flüssigkeiten unter einander und mit festen Körpern in Contact gebracht, zeigen sich elektrisch; es ist also die Berührung eine sehr allgemeine Veranlassung zum Entstehen des elektrischen Zustandes. Wir nennen die Berührung hier absichtlich eine Veranlassung der Elektricitätserregung, weil wir aus dem Fundamentalversuche allein noch keinen Grund entnehmen können, in der Berührung als solchen die Ursache der Elektricitätserregung zu sehen. In sofern diese Ursache unbekannt ist, mithin als eine Kraft betrachtet wird, darf man ihr immerhin mit Volta den Namen elektromotorische Kraft beilegen, und die sich berührenden Körper Elektromotoren nennen.

107. Viele Physiker nehmen mit Volta an, und die Erfahrung hat bis jetzt diese Annahme nicht widerlegt, daß, wenn bei dem Contacte eines Körpers A mit einem andern B, der erste, nämlich A sich positiv, mithin der zweite B sich negativ elektrisch zeigt; wenn ferner bei der Berührung von B mit einem dritten C, nun B die positive, C die negative Elektricität erhält, sicher bei dem Contacte zwischen A und C, der erstere positiv, der letztere negativ elektrisch werde. Diese Annahme zugegeben, lassen sich alle die Elektricität leitenden Körper in eine Reihe, Spannungsreihe genannt, zusammenstellen, in welcher sie so auf einander folgen, daß ein vorhergehender mit jedem nachfolgenden durch Berührung positiv, mithin jeder folgende mit dem vorhergehenden negativ elektrisch erscheint, und die

Menge der von einem Körperpaare erregten Elektricität bei übrigens gleichen Umständen desto größer ausfällt, je weiter die dieses Paar constituirenden Körper in dieser Reihe von einander abstehen. Demnach ist derjenige, welcher diese Reihe beginnt, mit allen übrigen positiv; derjenige, welcher sie schließt, mit allen übrigen negativ elektrisch, und diese zwei Körper geben durch gegenseitige Berührung die meiste Elektricität.

Volta's Versuche mit dem Condensator haben ihm folgende Spannungsreihe gegeben: Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Reißblei, mehrere Kohlenarten, kryst. Braunstein. Pfaff hat auf demselben Wege diese Reihe ansehnlich erweitert. Sie lautet: Zink, Blei, Kadmium, Zinn, Eisen, Wismuth, Kobalt, Arsenik, Kupfer, Spießglanz, Platin, Gold, Quecksilber, Silber, Kohle, Glaserz, Schwefelkies, Kupferglanzerz, Kupferkies, Bleiglanz, Zinngraupen, Kupfernickel, Arsenikkies, Wasserblei, Uranoxydul, Pecherz, Titanoxyd, Graphit, Wolfram, Schrifterz, kryst. Graubraunsteinerz. Die kleinste Aenderung der chemischen Natur oder selbst der Oberfläche der Elektromotoren ändert den elektromotorischen Rang eines Körpers. Zwei ganz gleiche Zinkplatten geben keine Elektricität, wenn sie sich gegenseitig berühren; wird aber eine davon mit einer Silberplatte auch nur einmal gerieben, oder läßt man sie einige Zeit mit einer solchen in Berührung, so gibt sie, mit der andern in Verbindung, — E.

Nach Munk af Rosenschöld erregen selbst schlecht leitende Körper Berührungselektricität. Einer derselben, nämlich Bleisuperoxyd, soll sogar der stärkste negative Elektromotor seyn. (Pogg. Ann. 35. 46.)

108. Volta's Scharfblick suchte noch tiefer in das Wesen der Erscheinung einzudringen. Er stellte als Grundsatz auf, daß die elektrische Spannung desselben in Berührung befindlichen Paares nicht von der Masse der Körper oder von der Menge ihrer Berührungspuncte, sondern lediglich von ihrer materiellen Beschaffenheit abhänge und zugleich vollkommen constant sey, d. h. darin immer dieselbe elektrische Differenz herrsche, es mögen beide Körper isolirt seyn oder einer derselben mit der Erde in leitender Verbindung stehen. Erscheint also einer der beiden Stoffe, wenn das Paar isolirt ist, mit der Spannung $+a$, der andere mit der Spannung $-a$, was die elektrische Differenz $2a$ gibt, so muß, damit diese Differenz dieselbe bleibe, in dem Falle, wo einer, z. B. der negative, wegen leitender Verbindung mit der Erde, in den natürlichen Zustand versetzt wird, die Spannung des andern auf $2a$ erhöht werden. Wird dem Paare eine Quantität Elektricität mitgetheilt, die, abgesehen von dem Contacte, jedem Stoffe die Spannung b beizubringen vermag, so erhält der eine Stoff die Spannung $b+a$, der andere $b-a$ und die Differenz ist wieder $2a$.

Hieran knüpfte Volta noch die Behauptung, daß, wenn mehrere feste Leiter unmittelbar mit einander in Berührung kommen, der Erfolg derselbe sey, als wenn nur der erste und letzte Körper allein einander berührten, und überhaupt die Spannung zweier Körper, welche in der Spannungsreihe nicht unmittelbar auf einander folgen, der Summe der Spannungen aller in dieser Reihe zwischen den betreffenden Körpern liegenden gleich seyn müsse. Es fehlt zwar bis jetzt noch an einem directen Beweise der Richtigkeit dieses letzteren Satzes; allein da er

etwas der Zusammensetzung der Kräfte Analoges ausspricht, und in sofern einige Wahrscheinlichkeit für sich hat; da er von den zahlreichen Anhängern Volta's als eine Art Glaubensartikel angenommen wurde, und bis jetzt noch keine gründliche Widerlegung erfahren hat; so mag er einstweilen in dem Archive der Wissenschaft niedergelegt bleiben. Ein Beispiel wird den Sinn des Satzes noch mehr erläutern. Es sey, wie Volta annimmt, die elektrische Differenz zwischen Zink und Blei = 5, zwischen Blei und Zinn = 1, zwischen Zinn und Eisen = 3, zwischen Eisen und Kupfer = 2 und zwischen Kupfer und Silber = 1; so muß die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer = 5 + 1 + 3 + 2 = 11, und jene zwischen Zink und Silber = 5 + 1 + 3 + 2 + 1 = 12 seyn.

109. An den Volta'schen Fundamentalversuch schließt sich ein anderer an, der uns einen nicht minder merkwürdigen, mit dem Contacte zweier Metalle in Beziehung stehenden Erfolg vor Augen stellt. Man tauche eine Zinkplatte in verdünnte Schwefelsäure. Sogleich tritt eine lebhafte Gasentwicklung ein, es entbindet sich Wasserstoffgas und zugleich wird die Platte von der Säure, die das in Folge der Wasserzersetzung gebildete Zinkoxyd auflöset, angegriffen. Hierin liegt nichts, was nicht den gewöhnlichen chemischen Gesetzen gemäß wäre. Nachdem die Platte einige Augenblicke in der Säure war, hebe man selbe heraus, und bringe etwas Quecksilber darauf; dieses läßt sich nun auf der Zinkplatte, der es begierig adhärirt, so vertheilen, daß diese ganz mit Quecksilber überzogen, d. h. amalgamirt erscheint. Taucht man die so bekleidete Platte wieder in die Säure, so wird selbe selbst nach langer Zeit nicht angegriffen, und es entwickelt sich kein Wasserstoffgas. Der Quecksilberüberzug schützt also die Zinkplatte vor der Säure. Nun stelle man eine Kupferplatte der Zinkplatte gegenüber in die Flüssigkeit. Dieß ändert an dem Zustande der Zinkplatte nichts, und auch die Kupferplatte wird nicht angegriffen. Sobald man aber die Kupferplatte mit der Zinkplatte in Berührung, oder auch nur mittelst eines Drahtes in metallische Verbindung setzt, so erfolgt sogleich eine lebhafte Entwicklung von Wasserstoffgas, und das Zink wird aufgelöst: allein, und dieß ist an dem Versuche besonders merkwürdig, das Wasserstoffgas erscheint nicht wie früher an der Zinkplatte, sondern die Gasblasen steigen sämmtlich von der Kupferplatte auf, die doch für sich kein Wasser zu zerlegen und also auch kein Wasserstoffgas zu entwickeln vermag. Unterbricht man den Metallcontact, so hört die Auflösung des Zinkes und die Gasentwicklung augenblicklich auf, und beginnt nach Herstellung des Metallcontactes wieder von Neuem.

110. Dieser Versuch läßt sich mit einigen Abänderungen ausführen, die seine Wesenheit näher beleuchten. Man nimmt die Kupfer- und Zinkplatte von größeren Dimensionen, z. B. jede von einem Quadratfuß Fläche und darüber. Am bequemsten ist es, statt der Kupferplatte sich eines engen parallelepipedischen Kastens von Kupfer (einer Kupferzelle) zu bedienen, in die man die Säure gießt und worin man die Zinkplatte einsenkt, jedoch so, daß sie das Kupfer nirgends leitend berührt, was sich mit Glas- oder selbst mit Holzstäben leicht bewerk-

stelligen läßt. An die Zinkplatte, wie auch an die Kupferplatte sind kurze Stücke dicken Kupferdrahtes gelöthet, an welche Schraubenklemmen passen, in die man wieder andere Drähte als Fortsetzung einklemmen kann. Bringt man die Enden zweier solchen mit dem Zink und Kupfer verbundenen Drähte unter einander in Contact, und trennt sie hierauf wieder, so sieht man, zumal wenn es Kupfer- oder Messingdrähte mit amalgamirten Enden sind, bei jeder Trennung einen kleinen hellen Funken. Läßt man von der Kupferzelle zur Zinkplatte eine Drahtverbindung gehen, in welche ein kurzes Stück feinen Platindrahtes als Bestandtheil eingeschaltet ist, so geräth dieses, so lang die Säure kräftig wirkt, d. h. so lange sie noch nicht zu viel Zinkoxyd aufgenommen hat, bei jeder Herstellung der metallischen Communication zwischen Zink und Kupfer in helles Glühen, das bis zum Schmelzpuncte des Platindrahtes gehen kann. Dieser Versuch gelingt sogar mit Platten von sehr kleinen Dimensionen, wenn nur der Platindraht kurz und sehr fein ist, und die Flüssigkeit kräftig wirkt. Bringt man die von dem Zink und Kupfer ausgehenden Drähte auf die Zunge, den einen über, den andern unter dieselbe, so empfindet man einen heftigen Geschmack, von dem an den Drähten einzeln genommen nichts zu bemerken ist. Schneidet man einen Frosch am Unterleibe quer durch, zieht von den Schenkeln die Haut herab, legt die zu diesen gehenden Nervenstränge nächst der Rückenwirbelsäule bloß, und berührt mit einem der beiden vom Zink und Kupfer kommenden Drähte einen Nerv, mit dem andern einen der entsprechenden Muskel am Schenkel, so geräth das Froschpräparat in lebhafte krampfähnliche oder convulsivische Zuckungen, die sogleich aufhören, sobald man die Drähte von demselben wegnimmt, und noch öfter wiederholt werden können, bis sich endlich die Empfindlichkeit des Präparates verliert. Die beiden letzteren Wirkungen lassen sich auf eine viel einfachere Weise erhalten; die eine, wenn man die Zunge zwischen ein Stück Zink und ein Stück Kupfer gibt und die Metalle außerhalb des Mundes unter einander in Contact setzt; die andere, wenn man ein Stück Zink und Kupfer an einander hält und den Cruralnerv und den Schenkel des Froschpräparates jeden für sich mit einem der Metalle berührt. Vergleicht man diese Erscheinungen mit den Aeußerungen von Elektricität, die an dem in Contact befindlichen Zink und Kupfer im Volta'schen Fundamentalversuche wahrgenommen werden, so läßt sich der Zusammenhang beider Arten Phänomene nicht verkennen, und man wird sogleich auf die Vermuthung geführt, daß auch hier Elektricität im Spiele sey, jedoch nicht wie bei jenem Versuche im statischen oder Spannungszustande, sondern (gleichwie bei einer unaufhörlich sich ladenden und entladenden Leidnerflasche) im dynamischen, d. h. im Zustande des Stromes. Die Richtigkeit dieser Vermuthung findet in den Belegen, welche die Folge liefern wird, ihre vollste Bestätigung.

Die zuletzt erwähnten Erscheinungen am Froschpräparate haben zur Entdeckung der Elektricitätsquelle, von der hier die Rede ist, Veranlassung gegeben. Alois Galvani, ein berühmter Arzt und Lehrer der Ana-

tomie zu Bologna, hatte im Jahre 1790 entdeckt, daß ein Frosch, dem die Haut abgezogen war, und der überhaupt gar kein Zeichen des Lebens mehr von sich gab, in convulsivische Bewegungen gerieth, wenn er in eine elektrische Atmosphäre kam, während man dem elektrischen Körper Funken entzog, und zugleich den Frosch mit einem Leiter der Elektricität berührte. Er wollte diesem Einflusse der Elektricität weiter nachspüren, und bereitete sich zu diesem Zwecke Frösche, indem er sie tödtete, ihnen die Haut abzog, und die Cruralnerven entblößte. Einst hing er solche Frösche mittelst kupferner Haken an eine eiserne Terrasse auf, und fand, daß die Füße plötzlich zu zucken anfingen, wenn sie das Eisen berührten. Galvani widmete dieser Erscheinung eine besondere Aufmerksamkeit, und fand, daß man diese Zuckungen am leichtesten hervorbringen könne, wenn man Muskel und Nerv zugleich mit verschiedenen Metallen berührt, die Metalle aber selbst mittelst eines guten Leiters der Elektricität in Verbindung setzt, daß sie aber alsogleich ausbleiben, wenn man statt der Metalle einen schlechten Leiter anwendet. Dieses mit obiger Erfahrung zusammen gehalten, brachte ihn auf die Meinung, daß durch gleichzeitiges Berühren der Muskeln und Nerven eine darin enthaltene Elektricität in Umlauf gesetzt werde, und daß dadurch eine Entladung erfolge. Volta wiederholte dieselben Versuche mit kritischem Blicke, und fand sich durch die dabei Statt findenden Erscheinungen veranlaßt, die Sache umzukehren, und anstatt die Metalle als bloße Leiter und den animalischen Körper als Erreger der Elektricität anzusehen, erstere als Erreger der Elektricität und letzteren als bloßen Ableiter derselben zu betrachten. Dazu vermochte ihn besonders der Umstand, daß die Zuckungen an einem Frosche sehr schwach ausfallen, wenn er mit gleichartigen Metallen berührt wird, und daß sich zwei isolirte Metallplatten, wovon eine aus Zink, die andere aus Kupfer besteht, während und nach ihrer Berührung mittelst des Condensators elektrisch zeigen. Einem Froschschenkel ähnlich verhalten sich auch die Organe anderer jüngst getödteten Thiere, zumal aus den niedern Classen; um so empfindlicher sind sie im lebenden Zustande. Legt man auf eine Zinkscheibe ein Silberstück und darauf einen Blutegel, so zeigt dieser kein Unwohlseyn, so lange er nur das Silber berührt; so wie er aber darüber hinaus auf das Zink kommt, prallt er wie vom Schmerz getroffen plötzlich zurück.

111. Die Zusammenstellung einer Kupferplatte, einer Zinkplatte und einer Säure, so wie sie bei dem oben (109) beschriebenen Versuche Statt fand, wie auch jede andere dem Effecte nach äquivalente Zusammenstellung beliebig vieler, die Elektricität leitenden Substanzen nennt man im Allgemeinen eine Volta'sche, sehr häufig auch, wenn gleich minder gerecht, eine galvanische Kette. Enthält diese gerade nur so viele Bestandtheile als zur Erzielung eines elektrischen Stromes erforderlich sind, was bei dem angeführten Versuche der Fall war, so heißt die Kette eine einfache; besteht aber die Kette aus mehreren in einander greifenden einfachen Ketten, so heißt sie eine zusammengesetzte Kette oder auch eine Volta'sche (sehr unrichtig, aber doch dem herrschenden Sprachgebrauche gemäß, eine galvanische) Säule oder Batterie. Die Art der Zusammensetzung der einzelnen Elemente zu einer Batterie ist sehr verschieden, und ein Gleiches gilt auch von den Stoffen, welche man zu den Bestandtheilen der Elemente wählt. Es kommt darauf an, welchen Effect man erzielen will, ob die Wir-

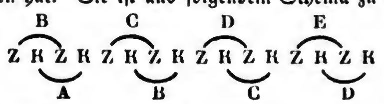
kung lange anhalten soll, oder ob man sich mit einer rasch vorübergehenden Elektricitätsentwicklung begnügt; ob man eine größere Ausdehnung des Apparates zuläßt, oder ob man es vorzieht, zwar kostspieligere Materialien anzuwenden, aber dafür alles auf den möglichst kleinsten Raum zusammenzudrängen.

Die im Jahre 1800 bekannt gewordene und auch manchmal jetzt noch in Anwendung kommende Construction der Volta'schen Säule ist folgende: Man ordnet eine gewisse Anzahl, 25—100, selten mehr ebene, rein gescheuerte, runde oder viereckige Kupferplatten (K) von 1—4 Zoll Durchmesser oder Seite, selten größer, eben so viele gleiche Zinkplatten (Z) und Pappscheiben oder Tuchlappen (L), die man mit Kochsalz- oder auch mit Salmiaklösung getränkt hat, auf einem Postamente zwischen drei Glas- oder Holzstäben dergestalt, daß sie eine Säule bilden (Fig. 225), in der die genannten Bestandtheile in der Ordnung K Z L K Z L K Z L K Z ꝛc. auf einander folgen, wo also, wenn die unterste Platte Kupfer ist, die oberste eine Zinkplatte ist, oder umgekehrt. Oft ist gleich jede Zinkplatte mit ihrer Kupferplatte zusammengelöthet, letztere etwas größer und nach der vom Zink abgekehrten Seite zu einer Art Schale mit niedrigem Rande aufgebogen, in welchem Falle die Säule unten mit einer Zinkplatte anfängt und oben mit einer Kupferplatte endigt. Die Schale dient das Ablaufen der Flüssigkeit aus den durch das Gewicht der Platten zusammengepreßten Lappen zu verhindern. Bei einer Plattenzahl, die 25—50 übersteigt, zieht man es vor, daraus mehrere Säulen zu machen, diese neben einander zu stellen und das Zinkende der einen mit dem Kupferende der nächst folgenden durch dicke Kupferdrähte zu verbinden. Man kann bei der oben angezeigten Anordnung auch die beiden äußersten Platten weglassen, d. h. die Säule nach dem Schema Z L K Z L K Z L K ꝛc. aufstellen. Ebene Platten (ohne aufgebogenen Rand) kann man auch zu einer liegenden Säule an einander schlichten, an deren Gestelle sich an einem Ende eine Schraube zum Pressen der Säule befindet. War die Säule eine Zeit lang auf die später zu bezeichnende Weise im Gange, so ist es nöthig dieselbe aus einander zu nehmen und die Platten zu reinigen.

Um die Flüssigkeit anwenden zu können, ohne sie durch Papp- oder Tuchlappen aufsaugen zu lassen, was dann besonders in Betrachtung kommt, wenn man die Batterie mit einer starken Säure laden will, welche die Lappen zerstört, hat man die Trogapparate eingeführt. Ein solcher (Fig. 226) besteht aus einem Kasten von Holz, Steingut oder Porcellan mit Fugen zur Aufnahme der Platten, deren jede meistens aus zwei zusammengelötheten einzelnen Platten von Kupfer und Zink, sogenannten Doppelplatten, besteht, und die so angeordnet werden, daß immer eine ihre Kupferseite der Zinkseite der folgenden zuwendet, wodurch schon erreicht wird, daß, wenn die erste mit Kupfer anfängt, die letzte mit Zink aufhört. In die Zellen wird der flüssige Leiter gegossen. Eine Modification des Trogapparates ist der Becherapparat (Fig. 227), dessen Einrichtung zum Zwecke hat, mit größeren Quantitäten Flüssigkeit arbeiten zu können, und dadurch die Wirkung anhaltender zu machen. Er besteht aus einer Anzahl gläserner Gefäße, welche den flüssigen Leiter enthalten, und aus eben so vielen Paaren Metallplatten, wovon immer eine Zink- mit einer Kupferplatte mittelst eines Metallstreifens verbunden ist; diese werden in die Gefäße so eingehängt, daß in jedes derselben immer eine Kupfer- und eine Zinkplatte zu stehen kommt. Graf Stadion nahm statt der Zinkplatte eine bloße Zinkstange, und statt der Kupferplatte einen hohlen kupfernen Cylinder, jede Zinkstange war mittelst eines Bo-

gens an den folgenden Cylinder gelöthet. (Fig. 228.) Berzelius empfiehlt als den einfachsten Volta'schen Becherapparat jenen, wo jede Zinkplatte durch eine bloße Zinkkugel vertreten wird, in welche ein Kupferdraht eingelöthet ist, der in einen Bogen gekrümmt, am anderen Ende etwas breitgeschlagen wird, und sogleich statt der Kupferplatte dient. Man kann statt gläserner Gefäße auch schmale kupferne anwenden, sie in einer Reihe neben einander stellen und die in jedes einzelne eingehängte Zinkplatte mit dem nächst folgenden Gefäße verbinden. Zur Isolirung der Zinkplatten wendet man Holzstäbe an, welche man diesen Platten so anfügt, daß sie die Kupferzelle nirgends berühren. Die Kupferzellen bringen den Vortheil mit sich, daß jede Zinkplatte von beiden Seiten mit Kupfer umgeben ist; ähnliches leistet die Wollaston'sche Einrichtung des Trogapparates, wobei jede Kupferplatte doppelt so groß als die Zinkplatte, und um selbe herumgebogen ist; jede Zinkplatte ist von der sie umgebenden Kupferplatte durch Holzkeile geschieden und hängt mit der Kupferplatte des nächst folgenden Elementes metallisch zusammen. Der Trog hat gesonderte Zellen, welche die Flüssigkeit enthalten. Um alle Elemente dieses oder des vorher erwähnten Apparates zugleich in die Zellen einsenken und wieder herausheben zu können, sind ihre Verbindungsbögen an eine gefirnißte, hölzerne Leiste befestigt (Fig. 229). Will man einzelne, besonders große Elemente anwenden und doch dabei mit wenig Flüssigkeit ausreichen; so wird zwischen die zwei Platten eines Elementes Sohlenleder oder auch Tuch gelegt und hierauf das Ganze spiralförmig zusammengewunden, jedoch ohne daß sich die zwei Platten irgendwo berühren. Man kann dieselben auch durch zwischen gelegte Holzstäbe getrennt halten. Statt große Platten anzuwenden kann man auch kleinere nehmen, indem man mehrere oder alle Zinkplatten unter sich, und die Kupferplatten wieder unter sich metallisch verbindet. Dabei läßt man die Zinkplatten in der Reihenfolge mit den Kupferplatten abwechseln, so daß nie zwei gleichnamige neben einander stehen. Hare nannte eine so vorgerichtete Batterie Deflagrator. Zur Ladung dieser Apparate wird gewöhnlich verdünnte Schwefelsäure oder verdünnte Salpetersäure, oder ein Gemenge aus beiden genommen. Hare empfahl zu seinem Deflagrator eine alkalische Lauge.

Nachdem die Einrichtung der Volta'schen Batterien über 30 Jahre lang stationär geblieben war, haben sie in neuester Zeit bedeutende Verbesserungen erlangt. Faraday's große Arbeit über die Elektricitätslehre gab hiezu den Impuls. Er zeigte, was auch Hare schon früher bemerkt hatte, daß es gar nicht nöthig sey, die einzelnen Elemente der Säule in getrennte Zellen zu setzen, sondern daß man selbe alle mit einander ohne merklichen Verlust an Kraft auch in einen ununterbrochen mit Flüssigkeit gefüllten Trog setzen könne. Die vortheilhafteste Construction der Säule in dieser Form ist die, welche ihr Young gegeben hat. Sie ist aus folgendem Schema zu ersehen:



Eine Folge abwechselnder Zink- und Kupferplatten wird in einem Holzrahmen befestiget. Je zwei Zinkplatten und eben so zwei Kupferplatten sind unter einander metallisch verbunden, so wie es die beigesetzten Klammern anzeigen. Diese Paare stehen, jedes Zinkpaar mit dem nächsten Kupferpaare, welches auf das theilweise in das Zinkpaar eingeschobene folgt, in metallischer Verbindung. In dem Schema sind

die mit einander verbundenen ungleichnamigen Paare mit gleichen Buchstaben bezeichnet. Es hängt also B mit B, C mit C zusammen u. s. w. Auf der einen Seite bleibt ein Kupferpaar (A), auf der andern ein Zinkpaar (E) unverbunden. Die Platten müssen einander möglichst nahe stehen. Der Trog, in welchen man selbe zugleich einsenkt, wird mit einem Gemenge verdünnter Schwefel- und Salpetersäure gefüllt (allenfalls auf 200 Thl. Wasser $4^1/_2$ Schwefelsäure, 4 Salpetersäure) oder mit einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol.

Eine sehr wichtige Verbesserung des Volta'schen Apparates, die wieder andere Fortschritte zur Folge gehabt hat, ist die von Daniell erdachte Anwendung zweier durch ein poröses Diaphragma getrennten leitenden Flüssigkeiten statt einer Flüssigkeit, wie sie bisher üblich war. Es wird nämlich die Zinkplatte von der Kupferplatte durch einen Ueberzug von thierischer Blase oder durch ein Gefäß von gebranntem unglasirten Thone, oder durch eine andere passende poröse Scheidewand getrennt, der Raum, worin sich die Zinkplatte befindet, mit verdünnter Schwefelsäure, jener aber, welcher die Kupferplatte enthält, mit Kupfervitriollösung gefüllt. Man nennt eine so eingerichtete Batterie eine constante, weil ihre Wirkung eine bedeutende Zeit lang in derselben Stärke fortwährt. Grove hat an die Stelle des Kupfers in der Daniell'schen Einrichtung Platin gesetzt und dieses mit concentrirter Salpetersäure umgeben, die durch ein poröses Gefäß, worin beides sich befindet, von der etwas verdünnten Schwefelsäure, die das Zink enthält, getrennt ist. Eine Säule dieser Art braucht nur aus wenigen Elementen von geringerer Größe zu bestehen, und wirkt lange mit constanter Kraft. Pfaff empfiehlt statt der Platinplatten Porcellancylinder mit einem darauf eingebrannten Platinüberzug. Cooper fand, daß in einer Säule nach Grove's Construction statt des theuren Platins mit geringem Verlust an Effect Kohle genommen werden könne. Nach Poggendorff kann das Platin eben so durch Eisen ersetzt werden, wenn man nur statt der gewöhnlichen Salpetersäure, concentrirte rauchende Säure nimmt, oder wenigstens ein Gemenge dieser mit der gewöhnlichen von solcher Concentration, daß das Eisen dadurch nicht angegriffen wird. Weber und Wöhler haben kürzlich mit Eisen, das einerseits in concentrirte Salpetersäure, andererseits in verdünnte Schwefelsäure taucht, beide Flüssigkeiten durch ein poröses Thongefäß geschieden, sehr starke Wirkungen erhalten, bei welcher Einrichtung also bloß ein Metall mit zwei Flüssigkeiten die Kette bildet. Bunsen läßt in der Zink-Kohlen-Kette die Kohle zugleich die Rolle des porösen Diaphragmas übernehmen, indem er aus der durch heftiges Glühen eines Gemenges Steinkohlen und Koaks entstehenden festen, jedoch porösen Substanz dickwandige Gefäße bildet, die mit einem Gemenge von concentrirter Salpetersäure und Sand gefüllt werden. Das Zink befindet sich von verdünnter Schwefelsäure umgeben in einem Gefäße, worin ersteres steht. Wenige Elemente genügen zu sehr kräftigen Wirkungen

Bezüglich aller dieser Einrichtungen ist noch zu bemerken, daß es vortheilhaft ist, amalgamirtes Zink (109) anzuwenden.

112. Werden die beiden Enden, die sogenannten Pole einer Volta'schen Säule, durch einen Leiter (Polardraht) mit einander in Verbindung gesetzt, so heißt die Säule geschlossen, widrigenfalls offen. Die offene Säule zeigt, wiewohl stets nur schwache Grade elektrischer Spannung, die geschlossene gibt Effecte des elektrischen Stromes. Die Spannung ist nach der Stellung der Platte, woran

man sie untersucht, und nach dem Umstande ob die offene Säule isolirt ist oder nicht, verschieden. Geht man an der Säule nach der Richtung fort, in welcher Zink in unmittelbarem metallischen Contacte auf Kupfer folgt (oder das die Stelle des einen vertretende Metall auf das andere), so nimmt die Spannung algebraisch gesprochen zu, d. h. die Differenz, welche aus der Subtraction der vorhergehenden von den folgenden, mit Rücksicht auf ihre Zeichen sich ergibt, ist positiv. Hat also die Säule die ursprüngliche Volta'sche Anordnung KZLKZLKZLKZ und ist selbe isolirt, so besitzt das Ende K, wo die Kupferplatte steht, der sogenannte Kupferpol —E, und das andere Ende Z, der Zinkpol +E. Es ist aber besser den ersteren Pol den negativen, den letzteren den positiven zu nennen; denn hat die Säule die Anordnung ZLKZLKZLK, so herrscht in Uebereinstimmung mit der obigen Regel an dem Pole, wo die Säule sich mit einer Zinkplatte endigt, die negative, und an dem Ende, das man jetzt Kupferpol nennen sollte, die positive Elektricität. Die Richtung, in welcher die Platten im Metallcontacte sich succediren, nicht die Qualität der Endplatten, bestimmt die Natur der Pole. Im Inneren der isolirten offenen Säule ist die Spannung in der Mitte = o, vorausgesetzt, daß die Säule vollkommen symmetrisch gebaut ist; ihre absolute Größe wächst gegen jeden Pol hin in arithmetischer Reihe, und ihr Zeichen stimmt mit jenem des betreffenden Poles überein. Ist die Säule nicht isolirt, nämlich ein Pol derselben mit der Erde in leitender Verbindung, so steigt die Spannung des anderen auf das Doppelte, und dann zeigt die Säule nur die Elektricität des letzteren Poles. Das Maximum der Spannung tritt aber nicht immer augenblicklich, nachdem die Pole mit dem betreffenden Elektroskope verbunden worden, sondern oft erst nach einiger Zeit ein, deren Dauer mit dem feuchten Leiter der Säule zusammenhängt. Merkwürdig ist es, daß die Spannung des einen Poles einer Säule, dessen zweiter mit der Erde leitend verbunden ist, von gleicher Größe befunden wird, der flüssige Leiter mag wie immer beschaffen seyn. Sind aber beide Pole isolirt, so hängt die Elektricität derselben vom flüssigen Leiter ab.

113. Bringt man die äußere Belegung einer Leidnerflasche von beliebiger Größe mit einem Pole, und die innere mit dem anderen in genaue Berührung; so wird dieselbe schnell bis zu der Spannung geladen, welche dem Pole eigen ist. Van Marum lud auf diese Art mit einer Säule von ganz kleinen Platten eine ungeheure Batterie augenblicklich zu einem Grade, wozu er sonst mehrere Umdrehungen seiner Riesenmaschine gebraucht hätte. Dieß gibt für die Einerleiheit der Elektricität der Säule mit jener der Maschine einen schlagenden Beweis.

114. Werden die Pole einer thätigen Volta'schen Säule hinter einander durch verschiedene Körper verbunden und jedesmal die Spannung an den Polen untersucht, so gelangt man zu sehr interessanten Phänomenen: Einige Körper, wie z. B. die Metalle, heben die Spannung beider Pole vollkommen auf, und sind demnach im Stande,

ihre Elektricität vollkommen abzuleiten. Man nennt sie darum auch vollkommene Leiter; andere schwächen die Spannung gar nicht, und können darum, in Bezug auf die vorhandene Elektricität, als Nichtleiter angesehen werden. Von der Art ist Glas, Seide, Harz ꝛc. Es gibt Körper, die im starren Zustande Nichtleiter, im tropfbaren hingegen Leiter sind, wie z. B. Wasser, Bleioxyd, Kali, Kaliumchlorid, Schwefelantimon, Borax. Bei Quecksilberjodid findet aber das Gegentheil Statt. Wieder andere schwächen die beiden Pole der Säule nur, ohne sie ganz aufzuheben, theilen sich aber selbst in zwei, mit elektrischer Spannung begabte Hälften, und zwar erhält die mit dem + Pol verbundene Hälfte + E, die mit dem — Pol verbundene — E. Solche Körper behalten diesen ihren elektrischen Zustand noch lange Zeit, wenn sie auch schon von der Säule getrennt worden sind. Man nennt sie zweipolige unvollkommene Leiter. Von der Art ist nasses Papier, eine Säule aus immer abwechselnden Lagen von Metallplatten und feuchten Leitern. Eine solche Säule nennt man Ladungssäule oder secundäre Säule, wohl auch Ritter'sche Säule. (Gilb. Ann. 19. 488.) Einer solchen Säule ähnlich ist ein etwa eine halbe Linie dicker Silberdraht, dessen beide Enden man abwechselnd, eines mit dem positiven, das andere mit dem negativen Pole einer starken Säule in Verbindung gebracht und dieses etwa eine Stunde lang fortgesetzt hat. Da erscheint mittelst eines guten Condensators jedes Drahtende mit einer elektrischen Spannung, und zwar das eine mit positiver, das andere mit negativer Elektricität (Zeitschr. 9. 241. Pogg. Ann. 44. 44). Endlich gibt es auch Körper, welche, als Polardraht gebraucht, nur die Elektricität eines Poles ableiten, die des anderen aber unverändert lassen. Man nennt sie einpolige Leiter, und zwar positiv oder negativ einpolige, je nachdem sie die Elektricität des positiven oder negativen Poles wegnehmen. Zur ersteren Classe gehört die Flamme des Alkohols, des Wachses, Oehles, des Wasserstoffgases; zur letzteren die trockene Seife, Bleiweiß, Phosphorflamme. Uebrigens bedarf dieser Gegenstand noch einer weiteren Untersuchung, weil er vielleicht mit materiellen Veränderungen des Leiters in Verbindung steht. (Erman in Gilb. Ann. 22. 14. Ohm in Schweigg. J. 59. 385.)

115. Bei der Volta'schen Säule kommt wenigstens eine Flüssigkeit als Zwischenkörper vor; man kann aber auch aus lauter festen Leitern eine Säule bauen, die daher mit Recht den Namen einer trockenen Säule führt. Die berühmtesten Säulen dieser Art sind die vom Zamboni. (Gilb. Ann. 49, 35, 47, 183; 51. 182; 55. 472.) Sie bestehen aus Gold- und Silberpapier, wohl auch aus bloßem Silber- oder Goldpapier, das auf der Papierseite mit Manganoxyd eingerieben ist. Bringt man einige Tausend solcher Platten in gehöriger Ordnung in eine gläserne Röhre, versieht sie oben mit einem leitenden Knopfe, so wirkt sie nicht bloß auf ein Elektroskop kräftig ein, sondern wenn man zwei solche Röhren nahe an einander stellt, so daß in einer die Goldseite, in der anderen die Silberseite des Papieres aufwärts ge-

kehrt ist, so kann ein zwischen sie gestelltes, zartes, isolirtes Pendel abwechselnd angezogen und abgestoßen werden, mit einer Kraft, die man so weit verstärken kann, daß sie ein Uhrwerk in Bewegung setzt. Fig. 230 stellt diese Säulen vor. Die Wirksamkeit einer solchen Säule ist aber keineswegs von der Art, daß dadurch einer Uhr eine gleichförmige Bewegung ertheilt werden könnte, sondern sie nimmt ab, wenn die Luftfeuchtigkeit wächst, wird stärker, wenn die Temperatur steigt, und zwar fast im geraden Verhältnisse mit der Temperaturveränderung, wenn dieselbe langsam eintritt (Zeitschr. 7. 360). Durch die Feuchtigkeit des Papieres wird ihre Kraft gesteigert, aber nach Jäger's Erfahrungen (Gilb. Ann. 62. 227) zeigt sich selbst eine Säule aus möglichst getrocknetem Papiere noch wirksam. Watkins (Pogg. Ann. 14. 380) hat eine trockene Säule aus einem einzigen Metalle gebaut. Er wählt dazu Zinkplatten, die er auf einer Fläche polirt, auf der anderen rauh läßt und sie in einen Trog so einsetzt, daß alle polirten Flächen nach derselben Seite hinsehen und zwischen je zwei Platten eine etwa $^1/_4$ Linie dicke Luftschichte bleibt. Hier vertreten die zwei verschiedenen Flächen die zwei Metalle, und die zwischen zwei Metallplatten befindliche (feuchte) Luftschichte das Papier.

Trockene Säulen hat Behrens aus Flintensteinen, die einerseits mit Zink, andererseits mit Kupfer überzogen waren; Deluc aus Goldpapier und verzinntem Eisenbleche; Biot aus Zink, Kupfer und Salpeterscheiben; Jäger aus Zink, Kupfer, Firniß und Harz oder Seide; Ritter aus Zink, Kupfer und trockenem Schafleder; Kämtz aus vielen organischen Stoffen, wie z. B aus Zucker und Hefen, Wachs und Leinöhl, Gummi und Salep ꝛc. construirt. (Schweigg. J. 56. 1.)

116. Hängt man ein schmales Goldblättchen zwischen zwei kleine zambonische Säulen, deren Pole eine entgegengesetzte Lage haben, so erhält man das seiner Empfindlichkeit wegen besonders zu empfehlende Bohnenberger'sche Elektroskop. Da sich hier das Goldblättchen zwischen zwei Körpern befindet, deren einer fortwährend +E, der andere —E besitzt, so wird es in seinem natürlichen Zustande nach beiden Seiten gleich stark gezogen und bleibt daher in Ruhe. So wie es aber eine geringe elektrische Spannung, z. B. von +E empfängt, so wird es gegen den einen Pol (—E) hingezogen und zugleich von dem andern (+E) abgestoßen, was eine doppelte Kraftäußerung gibt. Aus der Richtung der Bewegung des Goldblattes kann man daher sogleich ohne weitere Probe die Art der ihm mitgetheilten Elektricität erkennen. Man kann auch mit einer einzigen Säule ausreichen, wenn man von den beiden Polen derselben Spangen ausgehen läßt, zwischen welchen das Goldblatt hängt, wie Becquerel zuerst gethan hat. (Bohnenberger in Tübinger Blätter 1. 380, oder Schweigg. J. 25. 159; Becquerel in Zeitschr. n. F. 1. 188).

117. Zamboni hat noch eine andere Säule construirt, welche ein bemerkenswerthes Beispiel von Erregung elektrischer Spannung bei dem Contacte eines festen und eines tropfbaren Körpers liefert. Sie wird die zweielementige Säule genannt. Man erhält sie, wenn

man mehrere Zinnplättchen so schneidet, daß jedes in eine feine Spitze auslauft, sie in mit Wasser gefüllte Uhrgläser so stellt, daß jedes Plättchen auf zwei neben einander stehenden Gläsern gleichsam reitet, und immer in ein Glas von einem solchen Plättchen die Spitze, von einem anderen der breitere Theil zu stehen kommt. Da bemerkt man an den äußersten Plättchen eine elektrische Spannung, die mehrere Tage anhält, ohne daß eine Veränderung an den Zinnplättchen wahrzunehmen wäre. Das Stielende des Zinnes hat in der Regel —E, das andere +E. (Gilb. Ann. 60. 151.) Wenn sich die elektrische Spannung verloren hat, welches meistens nach ein Paar Tagen geschieht, so kann man sie durch Zusatz von etwas Kochsalz wieder erwecken.

118. Bei weitem wichtiger als die Spannungseffecte sind die Wirkungen des elektrischen Stromes, der sich einstellt, wenn eine Volta'sche Batterie, oder auch nur ein einzelnes Element, durch einen Elektricitätsleiter geschlossen wird, der keinen Grund zu einer entgegengesetzten Action in sich trägt, wie es der Fall ist, wenn beide Pole durch einen Draht verbunden sind, der entweder in einem Zuge fortläuft, oder höchstens nur durch Flüssigkeiten, gegen die er sich passiv verhält, unterbrochen ist. Da die Ursache der Elektricitätserregung in der Volta'schen Kette ununterbrochen wirkt, so ist der Strom derselben ein continuirlicher. Die Analogie mit dem Vorgange bei Entladung einer Leidnerflasche führt zu der Annahme, daß in der geschlossenen Volta'schen Kette eigentlich zwei entgegengesetzte Ströme circuliren; zur Erleichterung der Untersuchung und zur Vermeidung von Irrungen werden wir jedoch, der schon früher gemachten Bestimmung und dem allgemein herrschenden Sprachgebrauche getreu, die Aufmerksamkeit nur auf einen und zwar auf denjenigen richten, welchen wir als den positiven Strom zu betrachten haben, nämlich auf den von dem positiven Pole der Kette durch den Schließungsleiter zum negativen Pole gehenden, der demnach in der Säule selbst von dem negativen Pole zum positiven fortgepflanzt wird.

Diese Bestimmung der Richtung des Stromes ist dem Spannungsphänomen der Kette entnommen, in so fern nämlich der Strom als das Product der continuirlichen Ausgleichung immer fort sich zu erneuern strebender Spannungszustände angesehen wird. Längst schon haben Anhänger der dualistischen Hypothese sich diesen Hergang so gedacht, daß jedes Theilchen des Leiters, in welchem der Strom besteht, von einem Nachbartheilchen durch Vertheilung elektrisirt werde, von diesem +E empfange, und dafür sein eigenes +E auf gleiche Weise an ein nächst folgendes Theilchen abgebe. Die Richtung, nach welcher diese Wanderung des +E erfolgt, ist jene des Stromes. Sonach ist das Abfließen der Elektricität eines Körpers das Resultat einer immer weiter schreitenden Zerlegung und Zusammensetzung, mithin die Fortpflanzung einer Bewegung, wobei das Bewegte die Lage seines Gleichgewichtes nur sehr wenig verläßt. Es bedarf keiner Erinnerung, daß diese Vorstellungsart sich an Faraday's Ansicht sehr gut anschließt. Wollte man jede Hypothese vermeiden, so müßte man von dem in (109) angegebenen Phänomen als Fundamentalfactum ausgehen, und dabei

das Wort »Strom« nur als Bezeichnung eines gewissen, in der Erfahrung sich durch eigene Kennzeichen kund gebenden Zustandes eines Leiters betrachten, der sich nach verschiedenen Seiten hin verschieden äußert, mithin die Vorstellung der Richtung einschließt. Man würde sich aber hiedurch den Weg zur Auffindung der wichtigsten Gesetze gewaltig erschweren.

119. Die Wirkungen des Stromes einer Volta'schen Batterie sind keine anderen, als die eines einzelnen Elementes, und unterscheiden sich von letzteren, so wie von den Wirkungen des Stromes jeder anderen Elektricitätsquelle, nur dem Grade nach. Einige derselben, nämlich die Einwirkung auf unser Gefühl (physiologische Wirkungen), die Glühphänomene und ein Eingreifen in die chemischen Verhältnisse der Körper sind bereits an der einfachen Kette angedeutet worden; außer diesen kommen aber noch andere, nämlich die Wirkungen der Ströme aufeinander selbst und ihr Verhalten zum Magnetismus in Erwägung. Den Schlüssel zum Verständniß der bei diesen Effecten sich zeigenden quantitativen Beziehungen enthält eine theoretische Betrachtung der Intensität des elektrischen Stromes im Allgemeinen, welche daher vorangehen muß.

120. Obgleich das Wesen des elektrischen Stromes unbekannt ist, so können wir ihn doch als Resultat einer Action ansehen, die nicht nach allen Richtungen sich mit gleicher Stärke äußert, denn bei einer allseitig gleichen Action müßte nothwendig Gleichgewicht Statt finden, die Vorstellung der Bewegung fiele daher weg. Wir wollen uns hier bloß auf die Betrachtung des elektrischen Stromes in einem linearen Leiter beschränken, und setzen sonach den Grund des Stromes in das Uebergewicht der Action nach der einen Seite über jene nach der entgegengesetzten. Dieses Uebergewicht kann daher rühren, daß die Qualität der Elektricität, welche im Zustande des Gleichgewichtes als Spannung auftreten würde (für die wir diese Benennung beibehalten), während des Stromes in verschiedenen Puncten des Leiters eine verschiedene Größe hat. Dieß vorausgesetzt fassen wir an einem gleichmäßig dicken Leitungsdrahte, in dem ein elektrischer Strom vorhanden ist, irgend ein Stück, dessen Länge $= l$ sey, in das Auge. Die elektrische Spannung sey am Anfangspuncte dieses Stückes $= s$ und am Endpuncte, nach der Richtung des Stromes hingesehen $= s'$, mithin $s > s'$. Der elektrische Strom wird seine Existenz durch irgend einen Effect kund geben; läßt sich dieser Effect auf ein Maß zurückführen, so kann dieses als Maß des Stromes selbst dienen. Unter dieser Annahme sey die Intensität des Stromes $= p$. Offenbar wird p unter übrigens gleichen Umständen von dem Betrage der Differenz $s - s'$ abhängen. Die einfachste Voraussetzung, die sich über diese Abhängigkeit machen läßt, ist den Werth von p jenem von $s - s'$ proportional zu setzen. Allein die Länge des Stückes l, an dessen Endpuncten dieser Unterschied der Spannungen herrscht, ist bei der Beurtheilung der Stromstärke nicht gleichgiltig; der Strom wird für energischer gelten, wenn dieselbe Differenz schon an einer kleineren Länge sich vorfindet.

Die einfachste Voraussetzung bezüglich der Abhängigkeit der Stromstärke von der Länge des gewählten Stückes ist den Werth von p, bei gleichem Werthe von $s - s'$ der Länge l verkehrt proportionirt anzunehmen. Nicht minder natürlich ist die Voraussetzung, daß bei gleichen Werthen von $s' - s$ und l der Effect p um so größer seyn werde, je größer der Querschnitt q des Drahtes ist. Endlich wird es noch auf die materielle Beschaffenheit des Leiters ankommen. Wir wollen daher, alles Andere gleich gesetzt, die Größe p mit einer Qualität, die wir den Leitungswiderstand nennen und mit k bezeichnen, in verkehrtem Verhältnisse stehend denken. Alles dieses angenommen ergibt sich uns die Gleichung $p = \frac{(s-s')q}{kl}$, oder wenn der Kürze wegen $\frac{kl}{q} = \lambda$ gesetzt wird, $p = \frac{s-s'}{\lambda}$. Die Größe λ, nämlich das Product des Leitungswiderstandes mit der Länge irgend eines Stückes des cylindrischen Leiters dividirt durch die Querschnittsfläche desselben, heißt die reducirte Länge dieses Stückes. Daher ist die Stromstärke gleich der Differenz der Spannungen an den Enden des Leiters, dividirt durch dessen reducirte Länge.

121. Es circulire ein elektrischer Strom in einem in sich selbst zurückkehrenden Leiter, der aus mehreren heterogenen Theilen besteht. Dieser Leiter sey beispielsweise ABC (Fig. 231). An der Stelle A, wo zwei verschiedene Stücke an einander grenzen, sey die elektrische Spannung in dem ersten $= a$, in dem zweiten $= b$; an der Stelle B seyen in derselben Ordnung die Spannungen a', b' und an der Stelle C die Spannungen a'', b'' vorhanden. Die reducirten Längen der Stücke AB, BC, CA seyen λ, λ', λ''. Aus dem Begriffe eines Stromes folgt, daß er an allen Orten einerlei Stärke besitze, daher bestehen für die Ströme in den Stücken AB, BC, CA die Gleichungen:

$$p = \frac{b - a'}{\lambda},\ p = \frac{b' - a''}{\lambda'},\ p = \frac{b'' - a}{\lambda''}.$$

Aus diesen folgt $p\lambda = b - a'$, $p\lambda' = b' - a''$, $p\lambda'' = b'' - a$. Addirt man diese Gleichungen, so wird

$$p(\lambda + \lambda' + \lambda'') = b - a' + b' - a'' + b'' - a = b - a + b' - a' + b'' - a''.$$

Die Differenz der Spannungen an einer Stelle, wie $b - a$ in A, kann man die dieser Stelle entsprechende elektromotorische Kraft nennen; setzen wir nun $b - a = e$, $b' - a' = e'$, $b'' - a'' = e''$, so erhalten wir $p(\lambda + \lambda' + \lambda'') = e + e' + e''$, und hieraus

$$p = \frac{e + e' + e''}{\lambda + \lambda' + \lambda''}.$$

Was hier für drei Stücke gefunden wurde, gilt offenbar für jede andere Anzahl von Stücken. Daher die Regel: die Intensität des Stromes in einer elektrischen Kette ist gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte, welche in der Kette thätig sind, dividirt durch die Summe der reducirten Längen der Bestandtheile der Kette. Bezeichnet man die Summe der elektromotorischen Kräfte durch E, die Summe

der reducirten Längen durch L, so ist die Formel für die Stromstärke:

$$p = \frac{E}{L}.$$

122. Ein in sich selbst zurückkehrender Leiter ABC (Fig. 232) theile sich an einer Stelle in zwei Arme ADB, AEB, die gleichsam eine Insel bilden, so wird ein elektrischer Strom, der in dem Leiter circulirt, an der Stelle, wo der Leiter getheilt ist, sich gleichfalls spalten. Es sey die Intensität des Stromes in dem ungetheilten Stücke des Leiters $= p$, in dem Stücke $ADB = p'$ und in $AEB = p''$, so ist offenbar $p = p' + p''$. Die reducirte Länge des Stückes ADB sey $= \lambda'$, des Stückes $AEB = \lambda''$. Man kann dem Stücke ADB ein äquivalentes, d. h. dieselbe reducirte Länge besitzendes, von beliebiger wirklicher Länge l und von beliebigem Leitungswiderstand k substituiren, wenn nur der Querschnitt q' der Gleichung $\frac{kl}{q'} = \lambda'$ Genüge leistet (119), d. h. $q' = \frac{kl}{\lambda'}$ ist. Eben so kann man dem Stücke AEB ein äquivalentes von der Länge l und dem Leitungswiderstande k substituiren, wenn der Querschnitt dieses Stückes $q'' = \frac{kl}{\lambda''}$ ist. Da nun diese neuen Stücke dieselbe materielle Beschaffenheit und dieselbe Länge haben, nur verschiedene Querschnitte, so denke man sich dieselben in ein Stück vom Querschnitte $q' + q''$ vereinigt, und nenne dessen reducirte Länge λ, so muß $q' + q'' = \frac{kl}{\lambda}$ seyn. Mit Rücksicht auf die Werthe von q' und q'' wird sonach $\frac{kl}{\lambda} = \frac{kl}{\lambda'} + \frac{kl}{\lambda''}$ d. h. $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda'} + \frac{1}{\lambda''}$. Offenbar wird jedes der neuen Stücke, eben weil sie einerlei materielle Beschaffenheit und einerlei Länge haben, einen seinem Querschnitte proportionirten Theil des Stromes p leiten, sie mögen nun vereinigt oder getrennt seyn; daher bestehen die Proportionen: $p' : p = q' : q' + q''$ und $p'' : p = q'' : q' + q''$, aus welchen $p' = p \cdot \frac{\lambda}{\lambda'}$ und $p'' = p \cdot \frac{\lambda}{\lambda''}$ folgt. Hiernach kann man, wenn p, λ' und λ'' gegeben sind, vorerst λ und dann p' und p'' berechnen. Dieselben Betrachtungen finden bei einer Verästelung des Leiters in mehr als zwei Theile Anwendung.

Die Richtigkeit der Voraussetzungen, auf welche sich diese Formeln gründen, findet ihre Bestätigung in der Uebereinstimmung der daraus fließenden Folgerungen mit der Erfahrung. Der Inbegriff dieser Formeln, einer der wichtigsten Funde neuerer Zeit in der Elektricitätslehre, wird nach seinem Entdecker das Ohm'sche Gesetz genannt. (Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet von Dr. G. S. Ohm, Berlin 1827.)

Man kann eine Größe wie $\frac{1}{\lambda}$ die Leitungsfähigkeit des betreffenden Stückes nennen; die Gleichung $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda'} + \frac{1}{\lambda''}$ sagt daher aus, daß zwei

Aeste eines Leiters einem einzelnen Leiter gleich gelten, dessen Leitungsfähigkeit der Summe der Leitungsfähigkeiten der Theile gleich ist.

123. Es sey nun ein Volta'sches Element vorhanden, welchem die elektromotorische Kraft e und die reducirte Länge λ entspreche. Dieses sey durch einen Leiter geschlossen, der die reducirte Länge l habe; so ist die Intensität des Stromes $p = \frac{e}{\lambda + l}$. Man denke sich jetzt eine Kette von n solchen Elementen durch denselben Leiter geschlossen, und nenne die Statt findende Intensität des Stromes p', so wird $p' = \frac{ne}{n\lambda + l}$. Endlich denke man sich ein einziges Element, das nmal so groß ist als das oben genannte, ebenfalls durch denselben Leiter geschlossen, so wird die Intensität des Stromes in demselben

$$p'' = \frac{e}{\frac{\lambda}{n} + l} = \frac{ne}{\lambda + nl}.$$

In der letzteren Formel mußte $\frac{\lambda}{n}$ an die Stelle von λ kommen, weil nach 120 die reducirte Länge im verkehrten Verhältnisse mit der Querschnittsfläche des Leiters steht.

124. Hier sind nun zwei extreme Fälle zu betrachten, jene nämlich, wenn der Leitungswiderstand im Schließungsleiter im Vergleiche mit dem in der Kette entweder sehr gering, oder wenn er sehr groß ist.

1) Ist der genannte Leitungswiderstand sehr gering, so kann man die reducirte Länge l gegen λ vernachläßigen; dann ist

$p = \frac{e}{\lambda}$, $p' = \frac{ne}{n\lambda} = \frac{e}{\lambda}$ und $p'' = \frac{ne}{\lambda}$, mithin $p' = p$ und $p'' = np$.

In diesem Falle wirkt also eine Batterie nicht kräftiger als ein einzelnes Element von gleicher Fläche; aber ein Element von größerer Fläche um so kräftiger, je größer es ist.

2) Ist der Leitungswiderstand im Schließungsdrahte und mit ihm die reducirte Länge im Vergleiche gegen den Widerstand in der Kette sehr groß, so kann man λ gegen l vernachläßigen; dann hat man $p = \frac{e}{l}$, $p' = \frac{ne}{l}$, $p'' = \frac{ne}{nl} = \frac{e}{l}$ folglich $p' = np$, $p'' = p$. In diesem Falle wirkt also eine Batterie im Verhältniß der Anzahl ihrer Elemente kräftiger; ein Element von großer Fläche, aber nicht merklich kräftiger, als ein kleineres.

Da die reducirten Längen der Leiter die Widerstände darstellen, die sie als solche dem elektrischen Strome entgegensetzen, so erklärt sich aus diesen Formeln auch der Sinn der Rede, ein Strom, der bereits einen bedeutenden Widerstand überwunden hat, sey besser geeignet noch einen Widerstand zu überwinden, als ein solcher, dem kein merkliches Hinderniß im Wege war. Denn ist L groß, so wird die Größe $p = \frac{E}{L}$ im Verhältniß zum Ganzen nicht viel geändert, wenn zu L noch ein Zusatz hinzutritt; wohl aber wird die Aenderung beträchtlich, wenn L gering ist.

125. Nennt man die Querschnittsfläche einer Kette, oder die Oberfläche einer Zink- oder Kupferplatte einer gewöhnlichen Säule q, so kann man λ nach 120 unter der Form $\frac{h}{q}$ darstellen, wobei h eine von der materiellen Beschaffenheit der Bestandtheile der Kette abhängende Größe anzeigt. Es sey f die Gesammtoberfläche der Bestandtheile, n wie oben deren Anzahl, so ist $f = nq$, also

$$\lambda = \frac{h}{q} = \frac{nh}{nq} = \frac{nh}{f}.$$

Hiedurch wird die Stromstärke in der Kette, unter Beibehaltung der in 123 gebrauchten Bedeutungen der Buchstaben e und l, mittelst der Formel $p' = \frac{ne}{\frac{n^2h}{f} + l} = \frac{nfe}{n^2h + fl}$ ausgedrückt. Darnach läßt sich leicht beurtheilen, wie viel Elemente man einer Kette geben muß, um mit einer vorgeschriebenen Gesammtoberfläche bei derselben Schließungsweise den größten Effect herbeizuführen. Zu diesem Ende schreiben wir obige Formel so: $p' = \frac{fe}{nh + \frac{fl}{n}}$. Dieser Ausdruck wird, da n auf seinen Zähler keinen Einfluß hat, am größten, wenn man n so wählt, daß der Nenner $nh + \frac{fl}{n}$ am kleinsten ausfällt. Geben wir der Zahl n irgend einen Werth, und ändern wir hernach diesen Werth um n', so daß $n + n'$ an die Stelle von n kommt, wobei n' positiv oder negativ ist, je nachdem eine Vergrößerung oder Verkleinerung von n vor sich geht, so wird der Werth dieses Nenners nunmehr $(n+n')h + \frac{fl}{n+n'}$. Hat man für n die Annahme getroffen, in Bezug auf welche $nh + \frac{fl}{n}$ am kleinsten wird, so muß $(n+n')h + \frac{fl}{n+n'}$ jedenfalls größer seyn als dieser kleinste Werth, folglich, wenn man den vorhergehenden Ausdruck von dem folgenden abzieht, eine positive Differenz erscheinen. Nun ist

$$(n+n')h + \frac{fl}{n+n'} - nh - \frac{fl}{n} = n'h - \frac{fln'}{n(n+n')} = n'\left(h - \frac{fl}{n^2+nn'}\right).$$

Wenn man daher n so wählt, daß $h = \frac{fl}{n^2}$ wird, so erhält $h - \frac{fl}{n^2+nn'}$ das Zeichen + wenn n' positiv, und das Zeichen — wenn n' negativ ist, folglich das Product $n'\left(h - \frac{fl}{n^2+nn'}\right)$ gewiß das Zeichen +. Es ist also, um den Maximumwerth der Stromstärke p' zu erhalten, $n^2 = \frac{fl}{h}$, d. h. $n = \sqrt{\frac{fl}{h}}$ zu nehmen. Die so eben gefundene Bedingung des Maximums gibt die Gleichung $\frac{n^2h}{f} = l$. Aber $\frac{n^2h}{f}$, oder

$n\lambda$ stellt die reducirte Länge der ganzen Kette oder Batterie, oder was dasselbe heißt, den Gesammtwiderstand derselben vor. Es leistet also eine Volta'sche Batterie von vorgeschriebener Gesammtfläche der Platten am meisten, wenn der Widerstand der Batterie genau dem Widerstande gleich kommt, den der Strom im Schließungsleiter zu überwinden hat. Der Maximumwerth von p' selbst ergibt sich durch Substitution des Werthes $n = \sqrt{\frac{f l}{\lambda}}$ in $p' = \frac{n f e}{n^2 h + f l}$. Man erhält sonach für das Maximum der Stromstärke unter den gegebenen Umständen den Ausdruck $\frac{e}{2}\sqrt{\frac{f}{l h}}$. (Jacobi in Pogg. Ann. 50. 512.)

126. Diese Folgerungen aus dem Ohm'schen Gesetze finden bei der Betrachtung der physiologischen und thermischen Effecte der Volta'schen Kette eine lichtvolle Anwendung. Berührt man mit den Fingern, die man durch Benetzen der Haut mit einer Kochsalzlösung leitend gemacht hat, die Pole einer Volta'schen Säule, so empfindet man einen Schlag, dem einer geladenen Leidnerflasche einigermaßen ähnlich, der mit kleinen Unterbrechungen anhält und auch, jedoch mit sehr merklicher Schwächung, durch mehrere Personen, die sich mit feuchten Händen fassen, geleitet werden kann. Es zeigt sich kein besonderer Unterschied in der Stärke des Stoßes, wenn man größere Platten an die Stelle kleinerer setzt, aber mit der Anzahl der Platten nimmt die Stärke des Stoßes zu. Es setzt nämlich der menschliche Körper dem Strome der Säule einen bedeutenden Widerstand entgegen; die reducirte Länge des menschlichen Körpers als Elektricitätsleiter gedacht ist gegen jene der Säule sehr groß, daher gilt für den Stromeffect p' im Vergleich mit jenem eines einzelnen Elementes die Gleichung $p' = n p$, und es zeigt sich $p'' = p$ (124).

Um sich von dem, was hier reducirte Länge des menschlichen Körpers heißt, einen klaren Begriff zu machen, denke man sich eine Volta'sche Säule in Thätigkeit, und nehme an, man habe ein Mittel die Stromstärke zu messen. (Solche Mittel werden in der Folge wirklich angegeben.) Nun schalte man den menschlichen Körper in den Schließungsleiter ein, so daß er gleichsam als ein Theil desselben zu betrachten ist. Der frühere Effect der Säule wird jetzt nicht mehr obwalten, sondern an die Stelle desselben ein viel kleinerer treten. Nun schalte man in den Schließungsleiter statt des menschlichen Körpers einen Kupferdraht ein. Je mehr man die Lange dieses Drahtes vergrößert, desto mehr wird dem Effecte der Säule entzogen, und man kommt zuletzt auf eine Drahtlänge, die den Effect eben so weit herabsetzt, wie vordem der menschliche Körper. Betrachtet man den Leitungswiderstand des Kupfers und den Querschnitt dieses Drahtes als Einheiten für die gleichnamigen Größen, so ist die Länge l des zuletzt angewandten Drahtes die reducirte Länge des menschlichen Körpers (120). Nun schalte man die Bestandtheile eines der Elemente, aus welchen man eine Batterie construiren will, in den Schließungskreis ein, beobachte die Verminderung des Effectes und suche die Länge λ des äquivalenten Kupferdrahtes. Diese mit der Anzahl n der Elemente multiplicirt, gibt die reducirte Länge der zu construirenden Batterie. Es wird sich zeigen, daß λ gegen l, ja auch noch $n\lambda$ gegen l gering ist.

Um einen merklichen Schlag zu erhalten, ist eine Säule von 10—12 Elementen nöthig; mit 50—100 Elementen wird der Schlag schon bedeutend stark, er erregt krampfhafte Zuckungen in den Fingern und Armen, und ist an wunden Stellen der Hände besonders schmerzlich. Unerträglich wird die Empfindung selbst bei einer geringen Anzahl Elemente, wenn, während man Metallcylinder (Conductoren), von welchen Drähte zu den Polen der Säule gehen, mit nassen Händen faßt, die Kette sehr rasch hinter einander geöffnet und wieder geschlossen wird. Man kann sich hiezu einer eigenen Vorrichtung (Unterbrecher), aus einem gezähnten Rade bestehend, das mit einem der in den Händen befindlichen Conductoren in leitender Verbindung ist, und in ein zum betreffenden Pole gehendes Metallstück stoßweise eingreift, oder auch des Neef'schen Blitzrades bedienen (Pogg. Ann. 36. 352.) Bringt man, während man einen Conductor in der Hand hält, den anderen an die Stirne, so gewahrt man einen Lichtschein. Auf der Zunge erzeugt der positive Pol einen sauren, der negative einen alkalinischen Geschmack. Derlei Erscheinungen stellen sich schon bei Anwendung schwacher galvanischer Kräfte ein. Die in (110) erwähnten Versuche am leblosen thierischen Körper lassen sich mit einer Batterie im Großen anstellen. Man hat öftere Male solche Versuche an hingerichteten Verbrechern gemacht und merkwürdige Erscheinungen hervorgebracht. Aldini bewirkte durch eine Volta'sche Säule an einem solchen Leichname eine heftige Bewegung der Füße, die Augen öffneten sich und schlossen sich wieder, Mund, Backen und das ganze Gesicht verzerrte sich heftig. Ure brachte gar an einer solchen Leiche den Athmungsproceß wieder in Gang, doch hörte derselbe mit dem elektrischen Strome wieder auf. Ein erst getödtetes Schaf kann durch den elektrischen Strom in convulsivische Bewegungen versetzt werden, die den Anfällen von Epilepsie gleichen. Eine ausgerissene Krebsschere, durch die dieser Strom geht, zwickt heftig zusammen; eine an einen Tisch angenagelte Ochsenzunge zieht sich, wenn man den Strom durch sie leitet, so stark zusammen, daß sie den Nagel auszieht. Auch Vegetabilien sind für den elektrischen Strom empfindlich. Guilo hat mittelst einer Säule von 50 Elementen an Mimosa pudica, mimosa sensitiva und asperata Bewegungen hervorgebracht. Starke Ströme desorganisiren die Pflanzen. Die trockenen Säulen bringen auch bei großer Plattenzahl keine merklichen physiologischen Wirkungen hervor.

127. Die Licht- und Wärmeeffecte der Volta'schen Batterie werden als solche erst in den folgenden Abschnitten dieses Buches betrachtet; hier kann nur von den auf die Elektricität sich beziehenden Bedingungen dazu die Rede seyn. Die Kraft einer Volta'schen Säule, Metalldrähte glühend zu machen und zu verbrennen, richtet sich mehr nach der Größe als nach der Anzahl der Plattenpaare. Hier ist nämlich kein gegen jenen der Säule namhafter Widerstand zu überwinden, und es kommt vor allem auf die Elektricitätsmenge an, die durch den Draht geleitet wird. Daher die erstaunenswerthen Erscheinungen der Säulen mit großen Platten, zumal wenn selbe die neuere Daniell'sche oder Grove'sche Einrichtung haben, oder die deren Stelle vertretende von Wöhler und Weber oder Bunsen (111) Ein glänzendes Lichtphänomen liefert Kohle, in den Schließungskreis gebracht.

Ihrer Glühphänomene willen hat sich die von Children construirte Säule einen großen Ruf erworben. Sie bestand aus 20 Doppelplatten von 6 Fuß Länge und $2^2/_3$ Fuß Breite. Auf den menschlichen Kör-

per äußerte sie keine größere Wirkung als eine Säule von eben so vielen kleinen Platten; allein sie machte einen Platindraht von $^1/_{20}$ Zoll Dicke und 18 Zoll Länge, der als Polardraht gebraucht ward, so hell glühend, daß man den Lichtglanz kaum ertragen konnte, und schmelzte ihn endlich gar. Die Wärmeerregung war überhaupt so groß, daß man damit Metalle schmelzen konnte, welche im Ofenfeuer völlig unschmelzbar sind, wie z. B. Iridium. Eine Volta'sche Säule kann aber nur einen Draht von bestimmter Dicke glühend machen; je dicker dieser Draht ist, desto stärker muß der elektrische Strom seyn, um ein Erglühen desselben zu bewirken. Auch die Natur des Drahtes hat darauf großen Einfluß. Ein Strom, der einen Silberdraht ohne Erhitzung desselben durchströmt, bringt einen Draht zum Glühen, der aus abwechselnden Silber- und Platinstücken besteht. Die Funken einer Volta'schen Säule sind immer nur sehr kurz, weil auch die elektrische Spannung einer solchen im Vergleiche mit jener einer Maschine nur sehr gering ist. Es gibt zwar schon ein kleines Element einen Funken; dieser wird bei übrigens gleichen Umständen desto stärker, je mehr solche Elemente zu einer Batterie zusammengesetzt werden; aber selbst die große Batterie der Royal-Institution, die aus 2000 Doppelplatten von 32 Q. Zoll Oberfläche bestand, gab dem berühmten Davy nur $^1/_{30}$ Zoll lange Funken, und erst als man die Luft zwischen den Enden der Polardrähte stark verdünnt hatte, wuchs ihre Länge auf 4 Zoll. Mittelst eines sehr langen (am besten spiralförmig zusammengewundenen) Polardrahtes erhält man die stärksten Funken (Nobili in Pogg. Ann. 27. 436). Wurde im genannten Apparate der Royal-Institution eine Kohle von 1 Zoll Länge und $^1/_6$ Zoll Dicke in die Kette gebracht, und die Polardrähte auf $^1/_3$ Zoll genähert; so begann mehr als die Hälfte davon schnell zu glühen, und man konnte hierauf, begünstigt durch den geringeren Widerstand der durch Hitze verdünnten Luft, die Enden zweier solchen Kohlen 4 Zoll weit von einander entfernen, ohne die Entladung durch die Luft zu unterbrechen, ja es bildete sich da ein ungemein glänzender, nach oben gekrümmter Lichtbogen, der jede Substanz, welche man dazwischen brachte, schmolz, und selbst Quarz, Saphir, Kalk verflüchtigte. Vergleicht man mit den Wirkungen der vorerwähnten kolossalen Säulen die Leistungen der Grove'schen und anderen neueren Ketten, so wird man die großen Fortschritte, welche die Construction des wundervollen Volta'schen Apparates gemacht hat, nicht verkennen. Eine einzige Zinkplatte 3 Z. hoch, 4 Z. breit, mit einer entsprechenden Kohlenzelle nach Bunsen's Anordnung combinirt, gibt lebhafte Funken, erhält einen 1 Z. langen Platindraht von der Dicke eines Pferdehaares constant im Glühen, und macht selbst feine Kohlenspitzen glühend. Sechs Elemente von dieser Größe machen 5 Z. lange, ziemlich dicke Platindrahte constant glühend, und erzeugen zwischen Kohlenspitzen einen Flammenbogen, dessen Glanz das Auge kaum ertragen kann.

B. Elektromagnetismus und elektrodynamische Anziehung und Abstoßung.

128. Im Jahre 1820 machte Oersted eine der folgenreichsten Entdeckungen der neueren Physik bekannt. Dieser Gelehrte fand, daß der Volta'sche Strom eine Magnetnadel auf eine eigenthümliche Weise afficire. Führt man nämlich den Schließungsdraht eines kräftigen Elementes an der um eine fixe Axe beweglichen Nadel vorüber, so erfolgt, den einzigen Fall ausgenommen, wenn der Schließungsdraht

in der Ebene liegt, in welcher die Nadel bei ihrer Bewegung zu bleiben gezwungen ist, eine Ablenkung der Nadel aus ihrer Ruhelage, und zwar wird, nach Ampère's kurzem und umfassenden Ausdrucke des Phänomens, der Nordpol der Nadel gegen die linke Hand einer menschlichen Figur abgelenkt, die man sich, ihr Gesicht gegen die Magnetnadel gekehrt, in den Strom so gelegt vorstellt, daß er von ihren Füßen zum Kopfe geht. Dabei strebt die Nadel, so weit es der Erdmagnetismus gestattet, eine gegen die Richtung des Stromes senkrechte Lage anzunehmen. Diese Wirkung wird nicht gehemmt, wenn sich zwischen dem Schließungsdrahte und der Magnetnadel gute oder schlechte Elektricitätsleiter befinden. Nadeln aus unmagnetischen Metallen erfahren vom elektrischen Strome keine Einwirkung der Art.

Folgende durch Versuche leicht zu bestätigende Erfahrungen beweisen die Richtigkeit des obigen allgemeinen Ablenkungsgesetzes. 1) Ist der elektrische Strom, von Süd nach Nord gehend, mit der Axe einer horizontal schwebenden Magnetnadel parallel, und letztere mit ersterem in einerlei Verticalebene; so wird die Abweichung der Magnetnadel, nicht aber ihre Neigung geändert, und zwar wird der Nordpol nach West abgelenkt, wenn der elektrische Strom über der Nadel vorbeigeht, hingegen nach Ost, wenn er sich unter der Nadel befindet. 2) Hat der elektrische Strom dieselbe Richtung und steht die Magnetnadel in gleicher Höhe mit ihm; so wird ihre Neigung, nicht aber ihre Abweichung geändert, und zwar wird der Nordpol herabgezogen, wenn der elektrische Strom an der Westseite des Magnetes, vorbeigeht, hingegen erhöht, wenn er sich an seiner Ostseite befindet 3) Geht der elektrische Strom von Nord nach Süd, so erfolgen alle diese Ablenkungen nach entgegengesetzter Richtung. 4) Geht der elektrische Strom vertical aufwärts, und nähert man ihm das Nordende einer Declinationsnadel, so wird dieses nach Osten abgelenkt; fährt man in der Annäherung fort, so geht die Ablenkung in die entgegengesetzte über. Hiebei ist wohl darauf zu achten, daß sich obige allgemeine Regel nicht auf das Nordende, sondern auf den Nordpol der Nadel bezieht, welcher der Drehungsaxe etwas näher liegt, als dieses Ende. Ist der Strom abwärts gerichtet, oder ist der genäherte Pol der Südpol, so erfolgt das Entgegengesetzte. Aehnliches gilt, wenn sich eine vertical hängende Magnetnadel in der Nähe eines horizontalen Schließungsdrahtes einer galvanischen Kette befindet. 5) Eine astatische Nadel (20) wird von dem elektrischen Strome so gestellt, daß ihre magnetische Axe mit der Stromrichtung einen rechten Winkel bildet. Ist eine nicht astatische kleine Declinationsnadel dem im magnetischen Meridian befindlichen horizontalen Strome nahe und dieser sehr kräftig, so zeigt sich auch hier schon die rechtwinklige Stellung der Nadel gegen den Strom. 6) Geht der horizontale Strom senkrecht gegen den magnetischen Meridian, so steht eine Declinationsnadel über oder unter ihm in ihrer gewöhnlichen Ruhelage im Gleichgewichte, aber nur dann in stabilem, wenn der Nordpol im oben erklarten Sinne links gegen die Stromrichtung liegt. 7) Macht der elektrische Strom mit dem magnetischen Meridian einen spitzigen Winkel, so erfolgt die Ablenkung wie vorhin, nur schwächer. Man kann sich vorstellen, als ließe sich dieser Strom in zwei andere Ströme zerlegen, wovon einer im magnetischen Meridian liegt und auf die Magnetnadel nach den früheren Angaben wirkt, während der zweite auf dem magnetischen Meridian senkrecht steht und keine Wirkung auf sie äußert.

129. Die Kraft, mit welcher der elektrische Strom bei diesen und ähnlichen Versuchen auf die Magnetnadel wirkt, zeigt sich augenscheinlich um so schwächer, je weiter die Nadel von dem Schließungsleiter der Volta'schen Kette entfernt ist. Hier bietet sich sogleich die Frage dar, nach welchem Gesetze diese Kraft abnehme. Dieses ist zuerst von Biot aus Schwingungsversuchen, und von Schmidt aus Versuchen über die Gleichgewichtslagen einer astatischen Magnetnadel bestimmt worden. Es zeigte sich, daß die Kraft, welche ein langer gerader Schließungsdraht auf einen Magnetpol ausübt, dem Abstande dieses Poles von dem Drahte umgekehrt proportionirt sey; übrigens ist die Richtung der Kraft, wie schon aus den oben beschriebenen Versuchen hervorgeht, senkrecht gegen die Ebene, welche den Draht und den Magnetpol enthält. Erlaubt man sich, obgleich ein einzelnes Theilchen eines elektrischen Stromes für sich nicht existiren kann, dennoch die Annahme, daß die von dem Schließungsdrahte ausgehende Kraft das Resultat des Zusammenwirkens der Elementarkräfte sey, welche allen einzelnen Stromtheilchen zukommen, so wird man durch den Calcul auf die Folgerung geführt, daß jedes Stromtheilchen auf einen Magnetpol, oder überhaupt auf jedes magnetische Elementartheilchen eine dem Quadrate der Distanz beider verkehrt proportionirte Kraft ausübe, wobei jedoch der von allem, was man bisher über die Wirkungsweise der Elementarkräfte kannte, abweichende Fall vorkommt, daß diese Kraft nicht längs der Verbindungslinie des elektrischen Theilchens mit dem magnetischen, sondern senkrecht dagegen wirkt, insbesondere senkrecht gegen die Ebene, welche durch das (als unendlich kleine Linie betrachtete) Stromtheilchen und das magnetische Theilchen bestimmt wird, überdieß aber noch mit der Richtung des Stromtheilchens in dieser Ebene sich ändert, und zwar im geraden Verhältnisse mit dem Sinus des Winkels steht, den die Richtung des Stromtheilchens mit der zu dem magnetischen Theilchen gehenden Geraden macht.

130. Wir haben bis jetzt die Beziehung der Action eines elektrischen Stromes zu seiner Intensität noch außer Acht gelassen; offenbar ist es naturgemäß vorauszusetzen, daß der Vereinigung zweier, dreier ꝛc. identischen elektrischen Ströme die doppelte, dreifache ꝛc. Kraft zukomme, wie dieß der Fall ist, wenn man 2, 3, ꝛc. gleiche Leitungsdrähte, in denen gleiche Ströme fließen, dicht neben einander stellt. Hier zeigt sich nun nicht bloß die Anwendbarkeit der Magnetnadel zur Beurtheilung der Kraft eines Volta'schen Stromes, sondern auch die Richtigkeit des Ohm'schen Gesetzes. Entladet man ein Volta'sches Element durch einen kurzen dicken Kupferdraht, der also dem Strome keinen merklichen Widerstand entgegen setzt, so wird die Ablenkung einer Magnetnadel nicht geändert, wenn man mehrere eben solche Elemente zu einer Batterie verbindet; wohl aber steigt die Kraft sogleich auf das Zweifache, Dreifache ꝛc., wenn man ein Element von zweifacher, dreifacher ꝛc. wirkenden Fläche, bei übrigens gleicher Ladung anwendet.

131. Der Umstand, daß sich die ablenkende Kraft eines elektrischen Stromes nach der Intensität der strömenden Elektricität richtet,

erlaubt, diese Kraft zum Messen jener Intensität zu benützen. Nimmt man statt eines gewöhnlichen Leitungsdrahtes zum Schließen einer Kette einen gleichförmig dicken, breiten Metallstreifen von einer Länge, welche seine Breite wenigstens fünfmal übertrifft, und läßt über und nahe an demselben eine Magnetnadel spielen, deren Länge nicht über ein Viertel der Streifenbreite beträgt; so wirkt ein in diesem Streifen fließender Strom auf die Nadel bei jeder Stellung derselben gleich ein, weil er auch den ganzen Streifen der ganzen Breite nach gleichmäßig durchströmt. Ist P die magnetische Kraft der Nadel, T jene der Erde, p die Kraft des wirksamen Stromes, endlich α der Ablenkungswinkel der Nadel; so gibt $PT \sin\alpha$ die Richtkraft der Nadel, $pP \cos\alpha$ die ablenkende Kraft des Stromes an, und man hat:

$$pP \cos\alpha = PT \sin\alpha, \text{ oder } p = T \tan\alpha.$$

Es kann wohl auch ein gewöhnlicher Draht statt des Streifens angewendet werden, aber dann ist die Formel, welche die Relation zwischen dem Ablenkungswinkel und der Stromstärke angibt, complicirter, und nähert sich ersterer nur unter der Voraussetzung, daß die Länge der Magnetnadel sehr klein sey. Leichter gelangt man zum Ziele, wenn man, wie Ohm zuerst gethan hat, die Magnetnadel an einem elastischen Metall- oder Glasfaden über dem Polardraht schweben, den elektrischen Strom darauf wirken läßt, und dann durch Torsion des Fadens die Nadel in den magnetischen Meridian zurückführt; da ist die Torsion der ablenkenden Kraft proportionirt. Endlich kann man auch eine Magnetnadel über dem Polardrahte in einer gegen ihn senkrechten Lage oscilliren lassen, und aus der in einer bestimmten Zeit vollbrachten Anzahl der Schwingungen unter dem Einflusse des Erdmagnetismus allein, und dann des Stromes und des Erdmagnetismus zugleich, nach der in 28 angegebenen Methode auf die Stromkraft schließen.

132. Aus den in 128 angegebenen Gesetzen folgt, daß wenn ein Leitungsdraht über einer Declinationsnadel weggeht, dann sich abwärts biegt und in entgegengesetztem Sinne unter derselben fortgeführt wird, sowohl der obere, als auch der untere Theil eines durch den Draht geleiteten Stromes die Nadel nach derselben Seite hin abzulenken sucht, mithin so eine Verstärkung der Wirkung erfolgt. Diese Verstärkung läßt sich bedeutend erhöhen, wenn man den Draht in einem Zuge viele Windungen um die Magnetnadel machen läßt, wobei man, um den elektrischen Strom zu nöthigen, die ganze Drahtlänge zu durchlaufen, die einzelnen Windungen durch eine isolirende Bekleidung des Drahtes, z. B. durch Ueberspinnen mit Seide hindert, einander metallisch zu berühren. Auf diese Weise erhält man den Multiplicator oder das Galvanometer (Fig. 233), ein von Schweigger und gleichzeitig von Poggendorff erdachtes und seitdem nach Verschiedenheit des Bedürfnisses von den Physikern in mannigfaltiger Form vielfältig gebrauchtes Instrument, dessen Magnetnadel schon durch schwache Ströme in merkliche Ablenkung versetzt wird, welches also, indem man von der Annahme ausgeht, daß, wenn eine solche Ablenkung eintritt, ein elektrischer Strom vorhanden sey, zur Wahrnehmung nicht

bloß der Existenz, sondern auch der Richtung der strömenden Elektricität dient, nebstdem aber auch ihre Stärke zu messen gestattet. Das Galvanometer leistet daher für die strömende Elektricität dasselbe, was ein Elektroskop für die Elektricität im Spannungszustande thut. Nicht alle genannten Zwecke lassen sich mit demselben Instrumente und in allen Fällen erreichen. Der Hauptzweck, den man vor Augen hat und der entweder bloß qualitative, oder zugleich quantitative Bestimmung des Stromes ist, gibt in Betreff der Länge, Dicke, des Materiales des Drahtes, der Anordnung der Windungen, der Wahl der Magnetnadel, die bald einfach, bald astatisch genommen wird, ihrer Aufhängung, und bei der übrigen Einrichtung des Apparates den Ausschlag.

Für Ströme, die bei ihrem Entstehen einen nur geringen Leitungswiderstand überwunden haben, daher eine große Drahtlänge nicht vertragen, dient Fechner's Galvanometer, aus einem breiten Kupferbleche bestehend, das in die durch Fig. 234 dargestellte Form a gebogen ist, zwischen dessen Schenkeln sich eine Magnetnadel befindet, die mit einer zweiten außerhalb des obern Blechschenkels angebrachten zu einem astatischen Systeme verbunden ist. Das Kupferblech kann auch (für manche Zwecke, z. B. für Schwingungsversuche sogar mit Vortheil, wegen des aus später anzugebenden Gründen die Bewegung der Nadel hemmenden Einflusses des Kupferbleches) durch einen Kupferstreifen ersetzt werden, der einige neben einander liegende Windungen bildet. Ein äußerst empfindliches Galvanometer erhält man nach Nobili, wenn man den Draht zu zwei ovalen Ringen, deren einer unter dem andern steht, in entgegengesetzten Richtungen windet und in die Oeffnungen der Ovale zwei astatisch verbundene Magnetnadeln hängt (Fig. 235). Marianini windet den Draht fächerförmig (Fig. 236), damit die Nadel, wenn sie unter einer Windung vorbeigegangen ist, sogleich unter eine andere komme. Man kann den Galvanometerdraht auch doppelt nehmen, so daß zwei von einander getrennte Gewinde vorhanden sind, deren Theile neben einander liegen, mithin auf die Nadeln ganz gleich wirken. Hier kann man nach Gefallen entweder eine, oder beide Drahtlagen hinter einander, von demselben Strome durchlaufen lassen, oder zwei verschiedene Ströme in übereinstimmenden oder entgegengesetzten Richtungen durch die Windungen senden; in letzterem Falle läßt sich dadurch sogleich entscheiden, welcher von beiden Strömen der stärkere sey. Bei solcher Einrichtung heißt das Instrument ein Differenzial-Galvanometer. Zu Intensitätsmessungen dient auch ein Magnetometer nach Gauß, dem man ein multiplicirendes Drahtgewinde beigefügt hat.

Nach dem Ohm'schen Gesetze erhellet, daß die Action eines Multiplicators auf die Magnetnadel nicht bloß von der elektrischen Thätigkeit, die den Strom erzeugt, sondern auch noch von der Länge des in den Schließungsdraht eingeschalteten Multiplicatordrahtes abhängt; überdieß wird genannte Action bei gleicher Stromkraft in den Windungen noch durch die Anordnung der Windungen selbst bedingt. Bei dem Fechner'schen Galvanometer, so auch, wenn bloß eine einzige Drahtwindung und eine in Bezug auf deren Länge sehr kurze Nadel gebraucht wird, darf man, im Einklange mit dem in 131 Gesagten, die Tangenten der Ablenkungswinkel den im Drahte herrschenden Stromkräften proportional setzen. Ein Gleiches gilt noch, wenn man den Draht in parallelen Lagen um eine cylindrische Büchse mit kreisförmiger Basis windet, innerhalb welcher eine Magnetnadel spielt. Hierauf beruht Nervander's Einrichtung des Multiplicators (Ann. de Chim.

53. 156). Gehen die Drahtlagen um ein parallelepipedisches Gehäuse, so wird die im Drahte herrschende Stromkraft durch den Ablenkungswinkel mittelst eines complicirten Ausdruckes gegeben, worin die Abmessungen des Gehäuses und der Nadel vorkommen. In einem solchen Falle könnte man zwar nach Fechner's Vorgange zu Schwingungsversuchen seine Zuflucht nehmen, die jedoch mühsam und zeitraubend sind, oder die Drehwage in Anwendung bringen, die aber eine delikate Behandlung fordert; doch weicht man allen diesen Unzukömmlichkeiten am leichtesten mittelst der von Pouillet angegebenen und von Poggendorf (Ann. 50. 504) verbesserten Sinusboussole aus. Bei dieser ist das Multiplicatorgewinde drehbar; läßt man es der abgelenkten Nadel folgen, bis es gegen dieselbe genau wieder die frühere Stellung hat, so ist die Stromkraft der auf die Nadel senkrechten Componente der horizontalen erdmagnetischen Kraft gleich, welche letztere durch den Sinus des Winkels gemessen wird, um den die Nadel vom magnetischen Meridian abweicht. Dieser Winkel stimmt mit demjenigen überein, um den man das Multiplicatorgehäuse aus seiner ursprünglichen Lage gedreht hat, und kann an dem Instrumente abgelesen werden. Wäre die vom Drahtgewinde ausgehende Kraft stärker als die horizontale magnetische Erdkraft, so kann man die Intensität des Stromes so nicht messen, sie übersteigt die Grenzen des Instrumentes; wenn man aber ein doppeltes Drahtgewinde anwendet, und den Strom, nachdem man das eine Gewinde mit einem in die Leitung eingeschalteten Hilfsdrahte um ein Gewisses verlängert hat, sich in beide Gewinde theilen läßt, so daß seine Theile sie in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen, so bekommt man eine Differenz von Wirkungen, aus der man das Verhältniß des starken Stromes zu irgend einem schwächeren bestimmen kann. Man kann letzteren sich so in die Gewinde (mit Beibehaltung desselben Hilfsdrahtes) theilen lassen, daß er sie in einerlei Sinne durchläuft. Es hängt nämlich das Verhältniß zwischen der Summe und der Differenz der Wirkungen für einerlei Strom nur von dem Widerstandsverhältnisse der Drähte, nicht aber von der Intensität des Stromes ab, und bleibt daher, wenn es für eine passende Intensität durch Versuche gefunden worden ist, für alle andern giltig. In manchen Fällen ist es gut, dem Multiplicatordrahte eine außerordentliche Länge zu geben (Fechner in Pogg. Ann. 45. 232). Mittelst solcher läßt sich unter andern sehr leicht zeigen, daß der Strom der gemeinen Maschinenelektricität eben so auf eine Magnetnadel einwirkt, wie jener einer Volta'schen Kette.

Da die Ablenkung der Magnetnadel eines Multiplicators sich mittelst gut isolirter Leitungsdrähte in bedeutender Entfernung leicht zu Stande bringen läßt, so hat man die zwei Richtungen der Ablenkung, welche den zwei verschiedenen Richtungen des elektrischen Stromes entsprechen, als primitive Zeichen zur Telegraphie zu benützen versucht, durch deren Combination sich beliebig viele Zeichen bilden lassen. Am einfachsten hat dieß Bar. Schilling v. Canstadt ausgeführt; auch Andere, insbesondere Wheatstone, haben dem elektromagnetischen Telegraphen sinnreiche Einrichtungen gegeben.

133. Gleichwie ein fixer Polardraht eine bewegliche Magnetnadel in Bewegung setzt, eben so muß ein fixer Magnet auf einen beweglichen Polardraht wirken. Um dieses zu zeigen, denke man sich den doppelt rechtwinklig gebogenen Draht O, Fig. 237, um die verticalen Spitzen m und n leicht beweglich und von Elektricität durchströmt. Dieser Draht wird, so wie man ihm einen Magnet nähert, von dem-

selben angezogen oder abgestoßen, und zwar ersteres, wenn der elektrische Strom im Leiter aufwärts geht, und von der Drehungsaxe angesehen, den genäherten Nordpol zur Rechten hat; letzteres, wenn in Bezug auf die Richtung des Stromes oder die Stellung, oder die Beschaffenheit des genäherten Poles das Gegentheil Statt findet. Ein um eine verticale Axe beweglicher Multiplicator dient zu demselben Zwecke, und in so fern er dem Magnete mehrere Angriffspuncte darbietet, sogar mit Vortheil, obgleich die Vermehrung der Windungen auch die zu bewegende Masse in demselben Verhältnisse vergrößert, in welchem die Kraft wächst. Bei dem einfachen Drahte kann, wenn derselbe nur empfindlich genug aufgehängt ist, die magnetische Kraft eines Stahlstabes durch jene der Erde vertreten werden. Es stellt sich auch wirklich der Draht, durch den Einfluß des Erdmagnetismus auf den elektrischen Strom, in eine auf den magnetischen Meridian senkrechte Ebene. Richtet man den Draht O so ein, daß seine Masse zu beiden Seiten der Axe mn gleich vertheilt ist, und er daher, wenn diese seine Axe horizontal liegt, in Bezug auf selbe äquilibrirt erscheint, so stellt er sich, sobald ein starker elektrischer Strom durch ihn geht und die Axe mn senkrecht gegen den magnetischen Meridian gerichtet ist, in die Position des magnetischen Aequators.

134. Wir sehen einen Körper, der auf eine Magnetnadel abstoßend wirkt, als einen magnetischen an, daher müssen wir auch dem elektrischen Strome magnetische Kraft beilegen. Dieß ist aber nicht bloß eine Erweiterung des Umfanges der Benennung, sondern es findet zwischen einem elektrischen Strome und einem Magnete überhaupt eine große Analogie in den Wirkungen Statt. Der elektrische Strom ertheilt nämlich jedem Körper, durch den er geht, magnetische Kraft. Der Polardraht einer thätigen Volta'schen Säule zieht Eisen an wie ein Magnet, er mag aus was immer für einem Materiale bestehen, wenn er nur die Elektricität hinreichend leitet; doch dauert dieses nur so lange, als der elektrische Strom anhält, sobald er aber aufhört, verschwinden auch alle Spuren des Magnetismus. Der Zustand eines solchen Magnetes ist bis jetzt noch nicht so weit ausgemittelt, daß man seine Pole anzugeben im Stande wäre, und wenn es überhaupt erlaubt ist, von magnetischen Polen eines solchen zu reden, so muß man ihn als einen Transversalmagnet ansehen. Eisenfeilstückchen, die man ihm nähert, hängen sich nicht so an ihn an, wie sie dieses an einem gewöhnlichen Magnete thun, sondern sie wickeln ihn ein und legen sich der ganzen Länge nach quer um ihn herum. Diese merkwürdige Wirkung des elektrischen Stromes hat zuerst Arago wahrgenommen.

135. Die magnetische Kraft des elektrischen Stromes offenbaret sich ferner dadurch, daß man durch einen solchen Strom Eisen und Stahl magnetisiren kann. Wird ein elektrischer Strom schief über ein Eisenstäbchen geleitet, so erlangt dasselbe schon magnetische Kraft. Diese wird noch größer, wenn der Strom das Stäbchen rechtwinklig kreuzt, und endlich noch viel bedeutender, wenn man mehrere elektrische

Ströme quer über das Stäbchen gehen läßt. Letzteres findet Statt, wenn man den Polardraht zu einer hohlen Schraube zusammenwindet und den zu magnetisirenden Körper darein legt; denn in diesem Falle kann man sich die Richtung jedes Schraubenganges in zwei zerlegt denken, wovon eine auf der Axe der Schraube senkrecht steht, während die andere mit ihr parallel läuft. Letztere bringt keine hieher gehörige Wirkung hervor, und es vertritt daher die Schraube eben so viele quer über das Stäbchen gespannte Polardrähte, als Schraubenwindungen in die Länge desselben fallen. Die magnetisirende Kraft, welche da unter günstigen Umständen eine Volta'sche Kette entwickelt, ist unglaublich. Man kann durch dieses Mittel ein weiches Hufeisen, das überfirnißt, mit Seide oder Wollband und mit einem etwa 1 L. dicken Kupferdrahte schraubenförmig umwickelt ist (Fig. 238), dessen Ende mit den Polen eines mäßigen Volta'schen Elementes in Verbindung stehen, stark magnetisiren, und dieser Magnetismus bleibt zum Theile, selbst wenn der Strom aufgehört hat, bis man den Anker wegnimmt. in welchem Falle er aber ganz verloren geht. Die volle magnetische Kraft wird jedoch nicht im Augenblicke des Stromeintrittes, sondern erst allmälig erreicht. Man nennt einen so erzeugten Magnet einen temporären oder einen Elektromagnet. Alles, was die Intensität der durch den Polardraht strömenden Elektricität vermindert, setzt auch die magnetisirende Wirkung des Stromes herab. Daher wirkt ein Strom, der durch Schwefelsäure geht, so schwach. Man kann immer die Lage der Pole des so zu erzeugenden Magnetes angeben. In einer links gewundenen Schraube wird immer jene Hälfte die Nordhälfte, welche dem Eintritte des elektrischen Stromes am nächsten ist, und daher die andere die Südhälfte; in einer rechts gewundenen Schraube erfolgt das Gegentheil.

Sturgeon hat zuerst auf die mächtige magnetisirende Kraft eines schwachen elektrischen Stromes aufmerksam gemacht. Ein weiches Hufeisen von 29 Pfd. mit Spiralen von 5 Mill. dickem Eisendrahte erhielt durch eine einfache Kette mit Platten von 14 Mill. Durchmesser eine Tragkraft von 48 Pfd. und durch eine solche mit Platten von 70 Q. Centim. Oberfläche eine Kraft von 124—153 Pfd. Einem 11 Pfd. schweren weichen Hufeisen ertheilt man leicht mit einem Zinkkupferelemente von 1 Q. Fuß Oberfläche und 2 Linien dicken Kupferdrähten eine Kraft von 120 Pfd., mit einem Elemente von 4 Q. F. aber leicht eine Kraft von 200 Pfd. Ten Eyk hatte bisher hierin das Größte erzielt und einem Hufeisen von $59\frac{1}{2}$ Pfd. Gewicht mit einem Elemente von $4\frac{7}{9}$ Q. F. Oberfläche eine Tragkraft von 2063 Pfd. ertheilt. (Moll in Zeitschr. 9. 106 und in Pogg. Ann. 29. 468; Ten Eyk in Schweigg. J. 65. 115.) Doch werden diese Versuche durch die in neuester Zeit aufgefundenen Verbesserungen sowohl des Volta'schen Apparates, wie auch der Einrichtung des Elektromagnetes überflügelt. In ersterer Beziehung zeigt sich bei Magnetisirungsversuchen eine galvanische Kette nach Grove außerordentlich wirksam, und ein Gleiches gilt auch von den Surrogaten für selbe. In letzterer Hinsicht sind die von Joule und von Radford zu Manchester construirten Elektromagnete merkwürdig. Joule umwickelte der Länge nach einen Hohlcylinder von Eisen (8 Z. engl. lang, $3\frac{1}{4}$ Z. im äußeren, 1 Z. im inneren Durchmesser hal-

tend) von dem ein Stück der Axe parallel abgeschnitten war, das zugleich den Anker vorstellte, mit 4 Kupferdrähten jeder 23 F. lang, 1/11 Z. dick. Dieser Elektromagnet ist gleichsam eine Folge an einander gelegter kurzen Hufeisenmagnete, so daß zwei sehr breite Schenkel entstehen. Mit einer Zinkeisenbatterie stieg die Tragkraft auf 2030 Pfd. Bei einem andern Versuche, wo 21 Drähte von 1/25 Z. Dicke angewendet wurden, mit einer Kette von 16 Elementen zu 1 Q. F., auf 2775 Pfd. Ein anderer Cylinder, 2 F. lang mit bloß einer Lage von 5 Lin. dickem Kupferdrahte versehen, der mitten durch, dann an jedem Schenkel außen vorbeiging, zeigte eine Tragkraft von 18 Ctn. Radford's Magnet besteht aus einer massiven cylindrischen Eisenplatte, an deren Basis ein Spiralgang eingeschnitten ist, der den Draht enthält. Ein Ende desselben ist in der Mitte nach oben durchgezogen, das andere geht seitwärts am Rande hinaus. Eine ähnliche Platte dient als Anker. Ein solcher Magnet von 9 Zoll Durchmesser, dessen Gewicht 16 Pfd. war, trug bei einem Anker von 14½ Pfd. eine Last von 2500 Pfd. Die Zinkeisenbatterie enthielt 12 Zellen zu 1 Q. F. (Pogg. Ann. 51. 378. *Ann. of. electricity.* 6. 231.) Es ist klar, daß man einen, wenn auch nur temporären Elektromagnet zur Erzeugung von Stahlmagneten durch Streichen benützen könne. Ein Stahlstab, der im glühenden Zustande mit jedem Ende an einen Pol eines starken Elektromagnetes angelegt und in dieser Lage abgelöscht wird, soll hiedurch starken Magnetismus erhalten. (*Ann. de Chim.* 51. 442.)

136. Die Umstände, von welchen der im weichen Eisen durch den Volta'schen Strom hervorgerufene Magnetismus abhängt, sind die Stärke des elektrischen Stromes, die Leitungsfähigkeit des Drahtes, die Anordnung der Windungen, die Homogeneität, Weiche, Masse des Eisens u. dgl. Die Gesetze, nach denen sich ihr Einfluß auf den Erfolg richtet, wurden von Jacobi und Lenz einer genauen theoretischen und experimentalen Untersuchung unterworfen. Es ergaben sich folgende Resultate: 1) Die Größe dieses Magnetismus ist, bei übrigens gleichen Umständen, den angewandten Strömen genau proportional. 2) Bei gleichen Strömen und gleicher Anordnung ist die Dicke des Spiraldrahtes gleichgiltig; doch erfordert ein dünner Draht, des größeren Leitungswiderstandes wegen, zur Erzielung eines gleichen Stromes eine stärkere elektrische Kette. 3) Die Weite der Windungen (der Durchmesser der Schraube) hat auf den Magnetismus nur an den Enden des Elektromagnets einigen Einfluß, wo die Kraft bei Vergrößerung dieser Weite abnimmt. 4) Die Totalwirkung sämmtlicher Windungen ist der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen gleich. 5) Das Maximum des Magnetismus wird erhalten, wenn der gesammte Widerstand der Umwicklung des Elektromagnetes dem gesammten Widerstande der Volta'schen Kette gleich kommt (125). 6) Die Maxima des Magnetismus verhalten sich also wie die Quadratwurzeln der Zinkoberflächen in der Batterie. 7) Der Magnetismus, den Eisenstäbe von gleicher Länge bei gleichen Strömen annehmen, ist ihren Durchmessern proportional. 8) Die Anziehung zweier Elektromagnete ohne Berührung (also nicht die Tragkraft), oder eines Elektromagnetes und des weichen Eisens verhält sich wie die Quadrate der magnetisirenden Ströme. (Pogg. Ann. 47. 225; 401; ebend. 51. 358.)

Diese Untersuchungen haben ein großes praktisches Interesse bezüglich der zuerst von Jacobi und nach ihm von Andern vielfach versuchten Anwendung der elektromagnetischen Kraft zum Maschinenbetriebe. Da nämlich die Stellung der Pole eines Elektromagnetes von der Richtung des in seiner Drahtspirale enthaltenen galvanischen Stromes abhängt, und jene Pole die entgegengesetzte Beschaffenheit annehmen, wenn diese Richtung umgekehrt wird, so geht, wenn dieß in der Nähe eines andern Magnetes geschieht, die frühere Anziehung der einander gegenüber liegenden Pole in Abstoßung über. Hiernach läßt sich eine Einrichtung treffen, um eine continuirliche Bewegung zu bewirken. Das Wesen einer solchen Einrichtung stellt sich auf die einfachste Weise an Ritchie's rotirendem Elektromagnete dar. Man versehe eine Holzscheibe AB (Fig. 239), welche zwischen die zwei Schenkel eines entweder constanten oder erst durch einen elektrischen Strom zu erzeugenden Hufeisenmagnetes paßt, mit einer kreisförmigen Rinne, die in der Richtung eines Durchmessers durch isolirende Scheidewände in zwei Hälften getheilt ist, ferner umwickle man ein Eisenstäbchen, das etwas kürzer ist als der Durchmesser obiger Scheibe, mit Kupferdraht, der durch einen Seidenüberzug isolirt ist, und gebe ihm eine solche Einrichtung, daß es sich um eine auf der Scheibe senkrechte Axe bewegen kann, und dabei die beiden Drahtenden in die genannte Rinne hineinreichen. Wird nun die Scheibe zwischen den aufrecht stehenden Schenkeln des Magnetes befestiget, die Rinne mit Quecksilber gefüllt, so daß dessen Oberfläche etwas über die Scheidewand hervorreicht, jedoch ohne dieselbe zu bedecken, der Magnet auf seine Drehungsaxe gebracht, so daß die zwei Drahtenden das Quecksilber berühren, und ein elektrischer Strom durch das Quecksilber und den um das Eisenstäbchen gewundenen Draht geleitet; so beginnt dieser Stab, der nun selbst ein Magnet ist, dessen Pole bei jeder halben Umdrehung wechseln, bei gehöriger Lage der Scheidewand, um seine Axe zu rotiren. Statt des rotirenden Elektromagnetes kann man auch ein kupfernes, um eine Axe bewegliches Rechteck oder ein Multiplicatorgewinde brauchen, dessen Enden in das Quecksilber der Rinne reichen. Die Stelle des fixen Magnetes kann auch die Erde vertreten. Die Lebensfrage des Elektromagnetismus als Surrogat für die Dampfkraft ist bis jetzt noch unentschieden; der großen Kraft ungeachtet, welche die Magnete im Zustande der Ruhe zeigen, entspricht die Bewegung den Erwartungen nicht. Gerade diese Kräfte rufen während der Bewegung andere hemmende Kräfte hervor, deren Natur auf später zu erklärenden Principien beruht.

137. Der elektrische Strom aus einer Leidnerflasche bewirkt im Allgemeinen dieselben Erscheinungen, wie der einer Volta'schen Säule, und zwar ertheilt er einem Drahte noch stärkeren Magnetismus; doch zeigt er besondere Eigenthümlichkeiten. Bringt man nämlich über einem horizontalen, langen Drahte dünne und kurze Stahlstücke in einer auf den Draht senkrechten Richtung so an, daß sie eine ungleiche Entfernung vom Drahte haben, und entladet dann eine Leidnerflasche oder eine Batterie durch diesen Draht; so findet man zwar die Stahlstücke magnetisch, aber die gleichnamigen Pole liegen nicht bei allen an derselben Seite, sondern wenn z. B. das dem Strome nächste Stäbchen den Nordpol an der rechten Seite hat, so findet dieses in der Regel auch noch beim zweiten, dritten rc. Statt; doch ist ihre Kraft immer schwächer, je weiter sie vom Strome entfernt waren, hierauf folgt aber eine Reihe, an denen der Nordpol links liegt, auf diese wieder

eine andere mit rechts gelegenen Nordpolen u. s. f. Die Anzahl dieser Abwechslungen hängt, nach Savary, der dieses Phänomen entdeckte, von der Stärke des Stromes, von der Länge des Leitungsdrahtes, von den Dimensionen der Metallstücke und von ihrer Coercitivkraft ab. Derselbe Gelehrte hat ferner gefunden, daß die Lage der Pole eines Stahlstückes und die Stärke ihrer Kraft auch durch die Substanz modificirt werde, in die man es einhüllt. Eine dicke Kupferplatte hemmt die magnetisirende Kraft ganz, eine dünne unterstützt sie. Dasselbe thun auch andere Metalle (Pogg. Ann. 9. 443). Nach Moll wirkt die magnetisirende Kraft des elektrischen Stromes durch Elfenbein, gebrannten Thon, Stein, Holz, ja selbst eine an und für sich diese Kraft hemmende Metallhülle bleibt ohne Wirkung, wenn sie mit einigen kleinen Löchern versehen ist (Zeitschr. 6. 342). Es scheinen hiebei schon magneto-elektrische Ströme im Spiele zu seyn, von denen erst später die Rede seyn wird. Die Versuche Savary's wurden von Rieß wiederholt. Er fand, daß eine dünne Nadel in derselben Spirale bei wachsender Stärke des Stromes abwechselnd in dem einen, darauf in dem andern Sinne magnetisirt werde, eine Anomalie, die bis jetzt noch unerklärt ist. (Pogg. Ann. 47. 58.)

138. Wenn man die Einwirkung eines elektrischen Stromes auf einen Magnet näher betrachtet, so kommt man leicht auf die Vermuthung, daß der Nordpol des Magnetes um den Polardraht nach einer Richtung, der Südpol desselben aber nach der entgegengesetzten Richtung zu rotiren strebe. Geht z. B. der Strom horizontal von Süd nach Nord, so wird der Nordpol der Nadel, wenn sie über dem Drahte steht, nach Ost, wenn sie auf der Ostseite steht, abwärts, wenn sie unter dem Drahte steht, nach West, wenn sie auf der Westseite des Drahtes steht, aufwärts getrieben, also stets von der Rechten gegen die Linke um den Strom herum. Der Südpol verhält sich gerade entgegengesetzt. Daß bei den vorhergehenden Versuchen diese Rotation nicht eintrat, kann daher kommen, daß der Magnet sich nicht frei bewegen konnte, und seine zwei Pole eine entgegengesetzte Bewegung einschlagen wollten. Ob diese Vermuthung richtig sey, wird man erfahren, wenn man einen elektrischen Strom nur auf einen Pol eines freien Magnetes wirken läßt. Dieses kann man erreichen, wenn man ein Gefäß A, Fig. 240, mit Quecksilber füllt, in dieses Quecksilber durch einen verticalen Draht BC einen elektrischen Strom leitet, so daß er längs der Oberfläche desselben abfließt, endlich in das Quecksilber ein Magnetstäbchen D gibt, welches darin durch eine angehängte Platinmasse in verticaler Lage schwimmend erhalten wird. So wie der elektrische Strom beginnt, fängt auch der Magnet an, sich um den Polardraht zu bewegen nach einer Richtung, die sich nach der vorhergehenden Regel vollkommen richtig bestimmen läßt. Geht nämlich der Strom aufwärts und stellt man sich in Gedanken in denselben, das Gesicht gegen den Magnet gekehrt, so umkreiset derselbe den Strom von der Rechten gegen die Linke, wenn der außerhalb des Quecksilbers sich befindende Pol der Nordpol ist. Ist der Südpol aufwärts ge-

kehrt, oder geht der Strom abwärts, so erfolgt wegen jedem dieser Umstände für sich allein die entgegengesetzte Bewegung des Magnetes um den Strom. Hieraus ist leicht zu errathen, daß sich auch ein beweglicher Polardraht um einen Magnet bewegen wird. Man kann dieses zeigen, wenn man in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß A, Fig. 241, einen leicht beweglichen Draht BC vertical herabhängen läßt, und in der Mitte des Gefäßes einen verticalen Magnetstab anbringt, oder auch durch dasselbe einen Stab DE von weichem Eisen gehen läßt, dem man mittelst eines, an seinem aus dem Gefäße hervorstehenden untern Theile E angelegten Magnetes Magnetismus ertheilt, wobei man den Vortheil hat, die Pole leicht wechseln zu können. Der untere Theil dieses Drahtes reicht bloß mit der Spitze an das Quecksilber, und wird durch ein kleines Glaskügelchen gehindert, den Magnet zu berühren. Sobald man einen elektrischen Strom durch den Draht in das Quecksilber gehen läßt, fängt das Umkreisen des Polardrahtes an, und dauert fort, so lange der Strom anhält. Hat der Eisenstab Nordmagnetismus und geht der Strom im Drahte aufwärts, so circulirt letzterer, vom Magnete aus betrachtet, von der Rechten gegen die Linke. So wie der magnetische Pol geändert wird, oder die mit den Polen der Säule verbundenen Drähte verwechselt werden, ändert sich auch die Richtung der kreisenden Bewegung. Diesen Versuch hat Faraday zuerst angestellt.

Der Apparat, durch den man ein Rotiren des Polardrahtes um einen Magnet und umgekehrt erzeugt, läßt sich auf mannigfaltige Weise abändern. Man kann den Polardraht wie eine Magnetnadel auf eine verticale Spitze, die auf einer Magnetstange angebracht ist, stellen, und eines oder beide seiner Enden in ein Quecksilbergefäß abwärts biegen; man kann sogar um jeden Pol eines hufeisenförmigen Magnetes einen solchen Polardraht anbringen, und zugleich eine Bewegung um beide Pole erzeugen. Barlow hat an einem gabelförmig ausgeschnittenen Polardrahte U (Fig. 242) ein sternförmiges Rädchen angebracht, dessen Spitzen in Quecksilber reichten, und dessen Ebene sich zwischen den Schenkeln eines hufeisenförmigen Magnetes befand. Dieses Rädchen wird durch den elektrischen Strom mit ungemeiner Geschwindigkeit umgedreht. Legt man den Magnet um, so daß der Nordpol dorthin kommt, wo früher der Südpol sich befand, oder ändert man die Richtung des Stromes, so nimmt das Rädchen die entgegengesetzte Bewegung an. Thut man beides zugleich, so bleibt die Richtung der Drehung ungeändert. Daher wechselt das Rädchen seinen Gang nicht bei dem Wechseln der Stromrichtung, wenn man statt eines Stahlmagnetes einen Elektromagnet anbringt, und den Strom stets auf dieselbe Weise in einem Zuge durch die magnetisirende Spirale und das Rädchen gehen läßt. Die Art der Drehung des Rädchens läßt sich hier nach derselben Regel bestimmen, wie in den obigen Fällen. Geht der Strom in den Radspeichen aufwärts, so weicht der untere Theil des Rädchens, vom Nordpole des Magnetes angesehen, links aus. Geht der Strom abwärts, so erscheint die Bewegung von demselben Standpuncte entgegengesetzt. Davy hat selbst an flüssigen Leitern, z. B. am Quecksilber, an geschmolzenem Zinn deutliche Rotationen erzeugt. Er bediente sich dazu eines Gefäßes, durch dessen Boden zwei verticale Drähte gingen, die ringsum, bis auf ihre oberste Fläche

mit Siegellack überzogen waren. Wurde Quecksilber in das Gefäß gegeben, bis es die Drähte deckte, und durch sie eine mächtige Volta'sche Säule entladen; so erhob sich das Quecksilber über den Drähten in kegelförmiger Gestalt und schlug Wellen. Wurde der Pol eines Magnetes über einem jener Drähte angebracht, so senkte sich der Kegel, verschwand bei größerer Annäherung des Magnetes ganz, und ging endlich gar in eine Vertiefung über, aber das Quecksilber fing um denselben Pol zu rotiren an (Schweigg. J. 40. 332). Nach Fechner kann man eine Flüssigkeit durch folgende Vorrichtung in eine elektromagnetische Rotation versetzen: Man stelle auf den Pol eines aufrechtstehenden Magnetes eine Kupferschale von 4 — 5 Zoll Durchmesser, die in der Mitte aufwärts gedrückt ist, um in dieser Stellung ruhig zu verharren. Auf diesen in die Höhe gedrückten Theil lege man einen Zinkring, und gieße mit einer Salmiaklösung gemischte Salzsäure in die Schale, damit durch das Kupfer und Zink ein elektrischer Strom erregt werde, der durch die Flüssigkeit geht. Letztere beginnt nun besonders schnell am Zinkringe zu rotiren, und nimmt selbst hineingelegte Papierstückchen mit (Schweigg. J. 55. 15). Am leichtesten stellt man eine solche Rotation nach Schweigger dar, wenn man auf einen Pol eines kräftigen Hufeisenmagnetes ein Uhrglas mit einer Mischung von Salpetersäure mit etwas Salzsäure setzt und ein Stückchen Silberdraht nebst einem Zinkdrahte hineinhält. Sobald diese Drähte sich an den oberen Enden berühren, beginnt ein elektrischer Strom und mit ihm in der Flüssigkeit zwei deutlich sichtbare Wirbel um die Drähte, deren Richtung sich in die entgegengesetzte verwandelt, wenn man das Schälchen auf den andern Magnetpol überträgt. Ritchie hat zwei Apparate zur Darstellung der Rotation des Wassers unter der Einwirkung des Stromes einer Volta'schen Säule angegeben. (Pogg. Ann. 27. 582.)

139. Ampère hat gefunden, daß ein Magnetstab, der so aufgestellt ist, daß er sich bloß um eine durch die beiden Pole gehende Axe drehen kann, durch einen elektrischen Strom, welcher, von einem Magnetende an gerechnet, einen Theil des Magnets durchfließt und seitwärts von ihm weggeht, in Drehung versetzt wird. Zur Darstellung dieser Erscheinung bedient man sich am einfachsten des Apparates Fig. 243, worin NS den zwischen zwei feinen Spitzen drehbaren Magnet, und A ein die untere Hälfte desselben umgebendes Gefäß vorstellt, das mit Quecksilber gefüllt wird. Die obere Spitze steht mit dem einen, der Rand der Quecksilberfläche mit dem andern Pole einer Volta'schen Kette in leitender Verbindung. Geht der Strom im Magnete aufwärts und steht der Nordpol oben, so sieht man den Magnet sich von der Rechten gegen die Linke drehen; die Richtung dieser Drehung wechselt, wenn eine dieser Bedingungen in die entgegengesetzte übergeht.

Wenn gleich die am Eingange von 138 angestellte Betrachtung zur Entdeckung dieser Drehungsphänomene, ja sogar zur Angabe der Art der Drehung führen konnte, so gewährt sie doch noch keine so klare Einsicht in den eigentlichen Hergang der Sache, als man gewinnt, wenn man die Erscheinung als das Ergebniß der Gesammtwirkung aller einzelnen Theilchen des elektrischen Stromes auf alle magnetischen Theilchen betrachtet und diese auf Grundlage des in 129 ausgesprochenen Gesetzes, welches eben so gut die Action eines Stromelementes auf

ein magnetisches Theilchen, als die gleiche und parallel entgegengesetzte Action dieses auf jenes angibt, durch den Calcul bestimmt. Erst aus einem solchen Calcul kann man den Einfluß mit Sicherheit entnehmen, der eine Veränderung in der Anordnung des Schließungsleiters gegen den Magnet auf das Phänomen hat, so wie den Antheil, der jeder einzelnen Partie des Leiters und des Magnetes dabei zukommt. So sind es bei der Bewegung eines in Quecksilber schwimmenden Magnetes um den darein tauchenden Polardraht (138) vornehmlich die Ströme auf der Quecksilberfläche, welche diese Bewegung bewirken. Nach W. Weber's Behauptung (Pogg. Ann. 52. 353) hätte jedoch Ampère das oben beschriebene Rotationsphänomen des Magnetes um seine eigene Axe nicht aus dem richtigen Gesichtspuncte betrachtet, indem er dem Strome im Magnete aus dem Grunde keinen Antheil an der ins Spiel gesetzten bewegenden Kraft einräumte, weil ein System unveränderlich mit einander verbundenen Puncte sich nicht durch innere Kräfte in Bewegung setzen könne. Es dürfe hier nach Weber's Meinung gar nicht angenommen werden, daß der Stromtheil im Magnete mit diesem ein festes System bilde, da der galvanische Strom frei durch den Magnet gehe und nicht an die Stahlmolekel gebunden sey. Der Strom könne daher durch seine Action auf den Magnetismus der Stahlmolekel den Magnet selbst bewegen.

140. Ein in sich selbst zurückkehrender Volta'scher Strom, z. B. der durch einen kreisförmig gebogenen Schließungsleiter geführte, wirkt auf einen Magnet, als wenn die durch ihn gelegte Ebene auf der einen Seite mit Nord-, auf der andern mit Südmagnetismus besetzt wäre. Ein System hinter einander stehender kreisförmigen Ströme, die in einerlei Sinn fließen, oder ein von Elektricität durchströmter Schraubendraht, durch dessen Axe ein Drahtende zurückläuft, und dadurch die Schiefe der Gänge compensirt, wirkt wie ein Magnetstab, mit dem einzigen Unterschiede, daß die Pole des Schraubengewindes an den Enden desselben liegen, während sie bei dem Magnetstabe etwas von den Enden abstehen. Dieß ist sowohl Resultat der Beobachtung (vergl. 135), wie auch Ergebniß des in 129 angeführten Gesetzes. Wickelt man einen Draht um zwei Glasröhren, wie es Fig. 244 zeigt, läßt das abwärts gehende Drahtende in Quecksilber tauchen, während das aufwärts gerichtete in einen Haken ausläuft, mit dem es in ein etwas Quecksilber enthaltendes Schälchen eingreift, und verbindet eine kräftige galvanische Kette mit den zwei Quecksilberbehältern, so hat man einen Magnetstab ohne ein an sich magnetisches Metall, der einem Magnete gegenüber seine Pole beurkundet, ja wenn man für Beweglichkeit der Aufhängung Sorge getragen hat, sich wie eine Declinationsnadel in den magnetischen Meridian stellt.

141. Da ein gehörig angeordneter elektrischer Strom in der Wechselwirkung zweier Magnete den einen Magnet vertreten kann, so ist zu vermuthen, daß dabei auch der andere Magnet durch einen elektrischen Strom ersetzt werden könne, was die Erfahrung bestätiget. Hieraus folgt sogleich die wichtige Entdeckung Ampère's, daß überhaupt ein elektrischer Strom auf einen andern einwirkt. Ampère hat diese Action, durch entscheidende Versuche geleitet, auf eine Kraft zurückgeführt, welche jedes kleinste Stromtheilchen auf jedes andere

Stromtheilchen ausübt. Läßt man diese Zerlegung elektrischer Ströme in kleinste Theilchen gelten, so wirkt diese Kraft längs der Verbindungslinie je zweier Stromtheilchen, ist der Stärke der Ströme und den Größen der Theilchen direct, dem Quadrate ihres Abstandes verkehrt proportionirt, hängt aber überdieß noch von einem Factor ab, der durch die gegenseitige Lage der Richtungen der Stromtheilchen bestimmt wird, und dessen mathematischen Ausdruck Ampère angegeben hat. Hiernach läßt sich die aus der Gesammtwirkung aller Stromtheilchen resultirende Wechselwirkung zweier, wie immer gestalteten Ströme auf das Schärfste berechnen. Die Unzulänglichkeit der elementar-mathematischen Hilfsmittel erlaubt nicht, hier in ein näheres Detail dieser schönen Theorie einzugehen. Wir begnügen uns daher mit der Angabe einiger speciellen, unter dem allgemeinen Gesetze enthaltenen und eines einfachen Ausdruckes fähigen Fälle, von denen sich zur qualitativen Erklärung der Erscheinungen ein nützlicher Gebrauch machen läßt. Sie sind: 1) Zwei geradlinige unter einem Winkel gegen einander geneigte Stromtheile ziehen sich an, wenn beide gegen den Scheitel des Winkels gerichtet sind, oder beide von dem Scheitel weggehen. Geht aber ein Strom gegen den Scheitel des Winkels hin, der andere davon weg, so stoßen sich die Ströme ab. 2) Zwei geradlinige parallele Stromtheile, die nach einerlei Gegend gerichtet sind, ziehen sich an; sind aber die Richtungen derselben entgegengesetzt, so stoßen sie sich ab. Dieses zweite Gesetz läßt sich unter das erste subsumiren, wenn man parallele Linien als solche betrachtet, die den Winkel 0 bilden. 3) Die Theile desselben Stromes stoßen einander ab. Auch dieses folgt aus (1), wenn man die Verlängerung einer Richtung als den zweiten Schenkel eines Winkels von 180° betrachtet. 4) Ein geradliniger Stromtheil, der so gegen einen geraden Strom gestellt ist, daß seine Richtung rückwärts verlängert den letzteren trifft, wird längs der Richtung dieses Stromes getrieben; steht aber der erstere Stromtheil so, daß er gegen den andern hingeht, ohne ihn zu durchschneiden, so wird er in einem der Richtung des letztern entgegengesetzten Sinne getrieben. Dieß ist eine einfache Folge des Gesetzes (1). Es sey nämlich AB, Fig. 245, die Lage des von dem Strome CD afficirten Stromtheiles; E der Punct, in welchem CD von der verlängerten Linie AB geschnitten wird, und nehmen wir die Richtungen der Ströme so, wie selbe die beigesetzten Pfeile anzeigen, so ziehen sich die Stromtheile ED und AB an, und CE und AB stoßen sich ab; es wird also AB nach CD hin getrieben. Hätte aber der Strom in AB die entgegengesetzte Richtung, so würde AB nach DC getrieben. Kann also im ersten Falle der Leiter AB sich parallel zu seiner anfänglichen Position verschieben, so schreitet er längs CD vorwärts; kann er sich um B drehen, so wird er in Rotation versetzt, und die Einwirkung, die er dabei in allen seinen Lagen von CD erfährt, befördert die Drehung in demselben Sinne. Nähert man aber unter der Voraussetzung, daß sich AB um B drehen kann, den Strom CD dem Stromtheile AB, bis jener diesen schneidet, so kommt wegen der conträren Action von

CD auf die beiden Stücke von AB endlich eine solche Stellung zum Vorschein, worin das Bestreben zur continuirlichen Rotation aufhört und eine Gleichgewichtslage von AB möglich wird. Alle diese und noch viele andere Folgerungen hat Ampère durch scharfsinnig ausgedachte Experimente bekräftiget. Bei solchen Versuchen darf der Einfluß der Erde auf die beweglichen Stromleiter nicht außer Acht gelassen werden, der um so greller hervortritt, je beweglicher die Theile des Apparates und je kräftiger die Ströme sind. Ampère hat stets dafür gesorgt, jede Wirkung der Erde durch eine entgegengesetzte aufzuheben.

Um die Sätze 1) und 2) experimentell zu rechtfertigen, bedient man sich eines Drahtes ABCD von der Form wie Fig 246 zeigt, den man an einem Gestelle, wie M ist, leicht beweglich aufhängt. Die Schälchen xy, worein die spitzigen Drahtenden eingreifen, enthalten etwas Quecksilber und sind die Ein- und Austrittsstellen des galvanischen Stromes. Diesem beweglichen Leiter bietet man einen fixen Leiter, wozu sich am besten ein quadratischer, mit einem multiplicirenden Drahtgewinde umgebener Rahmen eignet, dessen Draht man gleichfalls in die galvanische Kette einschaltet, in verschiedenen Positionen dar. Legt man eine Seite des Rahmens unter BC, so kann man das Gesetz 1) beweisen; stellt man den Rahmen auf, so daß eine Seite mit AB parallel wird, so rechtfertiget sich das Gesetz 2). Eine Folge des Gesetzes 1) ist die Rotation eines beweglichen Rechteckes oder Drahtgewindes, das man ganz auf ähnliche Weise wie den sich drehenden Elektromagnet in Ritchie's Apparate (vergl. 136) anbringt, dessen fixen Magnet man mit einem ähnlichen Drahtgewinde vertauscht hat, unter welchem das vorgenannte vorbeigehen kann. Die Pole der Volta'schen Kette, welche den Strom liefert, werden mit dem einen Drahtende des äußeren fixen Gewindes und mit einem der Quecksilberfächer, worein die Enden des beweglichen Drahtes tauchen, in Verbindung gesetzt. Das zweite Ende des fixen Gewindes geht zum andern Quecksilberfache. So geht der Strom in einem Zuge durch beide Gewinde. Die in das Quecksilber reichenden Enden des beweglichen Stromleiters stehen über der Scheidewand beider Fächer in dem Augenblicke, wo dieser Leiter unter den äußeren tritt; der Strom wechselt in dem beweglichen Theile seiner Richtung, die frühere Anziehung beider Leiter geht in Abstoßung über, der bewegliche Leiter wird zum Weitergehen bestimmt, und es findet somit eine continuirliche Rotation Statt. Um die Anziehung gleichlaufender Ströme auf eine einfache Weise zu zeigen, winde man einen langen Draht zu einer schlaffen, hohlen Spirale zusammen, hänge sie in verticaler Richtung so auf, daß das untere Ende in Quecksilber taucht, und leite einen elektrischen Strom durch. Die Spirale zieht sich durch die Anziehung der in den einzelnen Windungen gleich fließenden Ströme zusammen, tritt unten aus dem Quecksilber, wodurch der Strom aufhört, die Spirale sich wieder eintaucht, abermals zusammenzieht und so fortwährend oscillirt. Die Anziehung und Abstoßung paralleler Ströme läßt sich auch mittelst der Maschinenelektricität darstellen, wenn man nur die Schnelligkeit der Entladung durch Einschaltung schlechterer Leiter mäßiget, oder durch Anbringen von Spitzen an den Leitern ein continuirliches Ausströmen der Elektricität herbeiführt. (Schmidt in Gilb. Ann. 68. 28.)

Um die in 3) ausgesprochene repulsive Wirkung eines elektrischen Stromes auf sich selbst zu erfahren, bediene man sich eines durch eine Querwand in zwei Fächer getheilten Gefäßes A (Fig. 247), fülle in

jedes Fach Quecksilber ein, setze eines in x mit dem positiven, das andere in y mit dem negativen Pole einer Volta'schen Säule in Verbindung, und lege auf das Quecksilber einen Metalldraht B C, der beide Fächer mit einander verbindet. Sobald der elektrische Strom beginnt, gleitet der Leiter B C längs der Oberfläche des Quecksilbers hin und entfernt sich von x und y.

Zur experimentalen Rechtfertigung des Gesetzes 4) umwickle man ein Glasgefäß A (Fig. 248) mit einem durch einen Seidenüberzug isolirten Kupferstreifen. Dieser kann dem Polardrahte C D in Fig. 245 um so mehr substituirt werden, da er zugleich als Multiplicator wirkt, und den Effect des elektrischen Stromes, welcher durch ihn geleitet wird, steigert. Den Polardraht für den zweiten, verticalen Strom erhält man, wenn man ein Drahtstück an zwei Stellen unter einem rechten Winkel biegt, so daß es aus zwei verticalen und einem horizontalen Theile besteht, wie a b c b, dasselbe unten mit einem kreisförmigen Kupferstreifen versieht, es auf einen durch den Boden des Gefäßes gehenden Stift beweglich stellt, und in dieses Gefäß säuerliches Wasser gibt, das den Kupferdraht berührt. Leitet man nun einen elektrischen Strom so, daß er in dem verticalen Stifte aufsteigt, an dessen Ende in zwei Theilen gegen b und c geht, hierauf abwärts durch b a und c d in den Ring fließt, von diesem in das säuerliche Wasser gelangt, hierauf in den Multiplicator übergeht, und endlich zum negativen Pole der Volta'schen Säule gelangt (oder eine gerade entgegengesetzte Richtung nimmt); so beginnt alsogleich das Rotiren des Stückes a b c d, und zwar nach einer Richtung, die der des Stromes im Multiplicator entgegengesetzt ist. Es zeigt sich auch ein Rotiren des Kupferringes, wenn man den Multiplicator wegläßt. Ampère schreibt dieses dem Erdmagnetismus zu, und, wie es scheint, mit Recht, da dessen Wirkung der eines verticalen, mit dem Nordpole abwärts gekehrten Magnetstabes gleich seyn muß; indeß hat man dagegen doch wohl zu beachtende Bedenklichkeiten erhoben. (Muncke in Gehler's Wörterb. 4. 589)

142. Mittelst einer elektrischen Kette, die einigen Leitungswiderstand zu überwinden vermag, kann man eine ganze Reihe elektromagnetischer und elektro-dynamischer Rotationsapparate auf einmal in Bewegung setzen. Hiebei ist es angenehm, die Richtung des Stromes wechseln zu können, ohne den zu den Polen der Kette gehenden Leitungsdrähten die entgegengesetzte Anordnung zu geben. Man leistet dieses durch Einschaltung eines sogenannten Commutators oder Gyrotrops in den Schließungskreis. Die einfachste Anordnung desselben ist folgende: A, B, C, D, Fig. 249, sind vier kleine Gefäße mit Quecksilber, oder, wenn man den Gebrauch des Quecksilbers beseitigen will, vier metallene Hülsen, welche an den Eckpuncten eines Quadrates stehen. Hievon werden zwei einander diagonal gegenüberliegende, wie A, C mit den Polen der galvanischen Kette, die beiden andern B, D mit dem Anfange und Ende der durch Zwischenleitungen zusammenhängenden Folge der Apparate, durch welche der Strom gehen soll, in Verbindung gesetzt. An einer isolirenden Platte a b c d befinden sich vier Metallfüße a, b, c, d, welche in die Oeffnungen A, B, C, D, und zwar wegen der quadratischen Form, in jeder Lage passen. Hievon sind a und b, dann c und d in leitender Verbindung. Setzt man nun a b c d so auf A B C D, daß die mit den gleichnamigen Buchstaben

bezeichneten Stücke zusammentreffen, und tritt der Strom bei A ein, so geht er nach B, dann durch die ganze Folge der Apparate, und kehrt über D nach C zurück. Setzt man aber a b c d so auf A B C D, daß die Stücke b c d a in der Ordnung wie sie jetzt genannt worden sind, in A B C D kommen, so geht der bei A eintretende Strom nach D, durchlauft die Leitung in entgegengesetzter Richtung, und kehrt über B und C zurück.

Sehr bequem ist die Disposition, die Pohl dem Gyrotrop gegeben hat, und die Fig. 250 vorstellt. A, B, C, D, E, F sind 6 kleine Quecksilberbehälter in gleichen Abständen auf einem kreisrunden Brette, wovon A mit D und B mit E durch Metallstreifen, die sich bei der Durchkreuzung ausweichen, in leitender Communication steht. Ein Bügel mit 6 Metallfüßen, wovon je drei a, f, e, dann b, c, d leitend verbunden, und die mittleren f, c etwas länger sind, wird in die genannten Behälter so eingesetzt, daß die Füße f und c in F und C tauchen, und zugleich, je nachdem man den Bügel entweder nach der einen oder der andern Seite wendet, entweder die Füße a, b in A, B, oder die Füße e, d in E, D. Bringt man nun in F, C die Zuleitungen von den Polen der Volta'schen Kette, und in A, B die Enden des Schließungsleiters, durch welchen der Strom geführt werden soll an, so geht der Strom bei der ersten Position des Bügels von F nach A, durchlauft die Leitung und kehrt über B nach C zurück; bei der andern Stellung des Bügels geht der Strom von F nach E B, durchlauft die Leitung im entgegengesetzten Sinne und kehrt über A, D nach C zurück. Man kann dem Commutator noch andere Einrichtungen geben. Die erste Idee des Apparates verdankt man Ampère. Er hat auch einen allgemeinen elektromagnetischen Apparat construirt, der alle zur Demonstration der bisher angeführten Phänomene nöthigen Geräthschaften als Bestandtheile umfaßt. Dieser etwas complicirte Apparat ist seitdem von mehreren experimentirenden Physikern abgeändert und vereinfacht worden, im Ganzen betrachtet sogar entbehrlich, da der Gebrauch getrennter Apparate für die einzelnen Phänomene mehr Bequemlichkeit gewährt.

143. Weil die kleinsten Theilchen elektrischer Ströme, wenn man die Totalwirkung eines Stromes als das Resultat der Partialwirkungen seiner Elemente betrachtet, auf einander längs ihrer Verbindungslinie wirken, mithin hier Action und Reaction wie in allen bisher gekannten Fällen, gleich und entgegengesetzt sind, während bei ähnlicher Analyse der Wechselwirkung zwischen einem Magnete und einem elektrischen Strome das Bestehen lateraler Kräfte zwischen jedem magnetischen und jedem Stromtheilchen vorausgesetzt werden muß, wobei kein directer Gegensatz zwischen Action und Reaction obwaltet; so fand es Ampère unwahrscheinlich, daß letztere Wirkungsweise für sich als eine ursprüngliche in der Natur bestehe: er sah vielmehr in dieser Art der Kraftäußerung die Andeutung, daß die Action zwischen den kleinsten magnetischen und Stromtheilchen selbst noch ein zusammengesetztes Phänomen sey, das auf die gewöhnliche Wirkungsweise der zwischen materiellen Theilchen in der Natur bestehenden Kräfte sich zurückführen lasse. Da nun, wie der auf das Wirkungsgesetz der Stromelemente gegründete Calcul lehrt, ein elektrischer Strom, der in

einem in sich selbst zurückkehrenden, eine unendlich kleine Fläche begrenzenden Leiter circulirt, in allen seinen Wirkungen sich so verhält, als ob dieses Flächenstückchen auf der einen Seite Nordpolarität, auf der ander Südpolarität besäße, gerade so, als ob ein magnetisches Element vorhanden wäre, so verwarf Ampère die Annahme eigener magnetischer Flüssigkeiten gänzlich, und schrieb die Polarität der Theilchen der Magnete der Anwesenheit elektrischer Ströme zu, welche diese Theilchen umkreisen. Eine unendlich dünne Magnetnadel ist nach Ampère nichts weiter, als ein System auf einander folgender geschlossenen elektrischen Ströme, welche in unendlich kleinen Bahnen circuliren, durch deren Mittelpuncte die Nadel senkrecht gegen die Ebenen der Bahnen hindurch geht. Eine solche lineare Reihe von Strömen nennt Ampère ein Solenoid. Ein Magnetstab kann als der Inbegriff unendlich vieler solcher gleich langen parallelen Nadeln angesehen werden. Das Magnetisiren von Eisen oder Stahl besteht in der Erweckung oder in der Anordnung solcher bereits bestehenden Ströme. Diese selbst wirken auf einander ein, wodurch der Parallelismus der Bahnen gestört wird; dieß ist die Ursache, warum die Pole eines Magnetstabes nicht wie bei einem Solenoid an den Enden liegen. Die Erde selbst hat nach Ampère's Ansicht ihre magnetische Kraft von galvanischen Strömen, welche von Ost nach West gerichtet sind, mithin dem Laufe der Sonne folgen. So scharfsinnig auch diese Ansicht ausgedacht und so consequent sie auch von ihrem Urheber durchgeführt wurde, so hat sie doch vor der Annahme eigener magnetischer Principien gar keinen Vorzug, denn sie postulirt ein Fortbestehen elektrischer Ströme auf eine Weise, welche mit dem allgemeinen Verhalten der Elektricitätsleiter, und solche sind ja die des Magnetismus fähigen Metalle, nicht in Einklang zu bringen ist. Auch kennen wir keinen Fall des selbstständigen Fortbestehens elektrischer Ströme; immer muß eine elektromotorische Kraft vorhanden seyn, die sie in Bewegung erhält. Die Ampère'sche Hypothese setzt nur an die Stelle eines Unbegreiflichen, nämlich der lateralen Kraftäußerung, ein anderes Unbegreifliches. Endlich ist ja die directe Action der Kräfte um nichts mehr einleuchtend, als die laterale. Das Ende der Naturforschung ist, daß wir auf Erscheinungen stoßen, über die wir bei der Zurückführung der Wirkungen auf ihre Ursachen nicht weiter hinaus können; diese sind die Ausgangspuncte für unsere Erklärungen. Höchst beachtenswerth sind die Bemerkungen Weber's (Pogg. Ann. 52. 355; 379) gegen die Ampère'sche Vorstellungsweise vom Magnetismus, nach welchen Bemerkungen es bereits Versuche gibt, die auf eine richtige Weise aufgefaßt, für die Existenz getrennter magnetischen Flüssigkeiten entscheiden, da sie sich aus Ampère's Hypothese nicht genügend erklären lassen. (S. das folg. Kap.)

Ueber Electro-Magnetismus siehe: *Oersted Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae* 1820. Pfaff, der Elektro-Magnetismus, eine historisch-kritische Darstellung der bisherigen Entdeckungen rc. Hamburg 1824. Darstellung der neuen Entdeckungen

über die Elektricität und den Magnetismus, durch Ampère und Babinet. Leipzig 1822. v. Althaus über den Elektro-Magnetismus. Heidelberg 1821. Handbuch der dynamischen Elektricität von Demonferrand. Leipzig 1824. Fechner's Elementarbuch des Elektro-Magnetismus. Leipzig 1830. Reichhaltig sind über diesen Gegenstand: Gilb. Ann. vom B. 66 und Schweigg. J. vom B. 29 angefangen. Ueber allgemeine elektro-magnetische Apparate siehe: Gilb. Ann. 67. 113. Zeitschr. 1. 200, vorzüglich Schweigg. J. 46. 1. Kastn. Arch. 13 49; 14. 273; Pogg. Ann. 28. 586. Sehr vollständig handelt über Elektro-Magnetismus Gehler's Wörterbuch 3.

C. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes.

144. Zu den wichtigsten Wirkungen elektrischer Ströme gehören die Zerlegungen chemisch zusammengesetzter Stoffe. Sie werden hervorgebracht, indem man den elektrischen Strom durch den zu zerlegenden Körper leitet. Am besten eignet sich dazu der Strom einer Volta'schen Säule, doch können dieselben Effecte unter Anwendung einiger durch die Natur der Sache gebotenen Kunstgriffe auch mit dem aus jeder andern Elektricitätsquelle entspringenden Strome, namentlich mit dem Strome einer Elektrisir-Maschine erhalten werden. In der Regel, und insbesondere bei den Zerlegungen der Körper mittelst der Volta'schen Säule werden diese so in den elektrischen Kreis eingeschoben, daß die positive Elektricität selbe nach einer, die negative nach der entgegengesetzten Richtung durchströmt; doch ist dieses nicht im Allgemeinen nothwendig, sondern es genügt schon entweder der positive oder der negative continuirlich abfließende Strom für sich allein. Damit ein chemisch zusammengesetzter Körper durch den elektrischen Strom zerlegt werden könne, muß er vor Allem die Elektricität leiten; dann müssen seine Theilchen eine hinreichende Beweglichkeit haben, mithin entweder unmittelbar oder mit Hilfe eines Auflösungsmittels im tropfbaren Zustande sich befinden; allein nicht jeder Körper, bei dem diese Bedingungen eintreffen, wird deßhalb schon durch einen elektrischen Strom, unter welcher Form dieser auch angewendet werden möge, zersetzt; man unterscheidet daher die durch strömende Elektricität zersetzbaren zusammengesetzten Stoffe, von jenen die es nicht sind. Die ersteren nennt man nach der von Faraday eingeführten Terminologie Elektrolyte, und die Bestandtheile, in welche ein Elektrolyt durch den elektrischen Strom zerlegt wird, Jonen. Der Act der Trennung der Jonen heißt Elektrolysirung. Gibt es mehrere Verbindungsstufen derselben Bestandtheile, so ist, wie die Erfahrung lehrt, höchstens nur eine derselben ein Elektrolyt; auch gibt es Stoffe, die bis jetzt nicht als Jonen erschienen sind.

145. Das einfachste Beispiel einer Elektrolysirung bietet das Wasser dar. Verbindet man nämlich zwei in Wasser tauchende Platindrähte mit den Polen einer Volta'schen Batterie, so sieht man nach Schließung der Kette, zumal wenn die Leitungsfähigkeit des Wassers durch Zusatz von etwas Schwefelsäure erhöht worden ist, an diesen Drähten reichlich Gasblasen sich bilden und aufsteigen; bei Oeffnung

der Kette hört dieser Vorgang gleich auf. Um die Beschaffenheit der Gase und das quantitative Verhältniß, in welchem sie sich entwickeln, bequem untersuchen zu können, bedient man sich eines Apparates von der Einrichtung des in Fig. 251 abgebildeten, der eine kleine pneumatische Wanne vorstellt, in welche zwei aus Glasröhren verfertigte und mit Volumsscalen versehene Recipienten eingesetzt sind, deren Mündungen über den Enden der durch den Boden der Wanne geführten, gerade aufsteigenden Platindrähte oder auch Platinplatten sich befinden. Die erhaltenen Gase charakterisiren sich als Sauerstoff- und als Wasserstoffgas, und erscheinen gerade in dem Verhältnisse, in welchem sie Wasser bilden, wenigstens in so fern man von der geringen Menge atmosphärischer Luft, die sich aus der Flüssigkeit, in der sie absorbirt war, in Freiheit setzen konnte, und von dem Verluste, den die entstehenden Gase durch Absorption von Seite der Flüssigkeit erlitten haben, abstrahirt. Hier ist also ohne Zweifel eine Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom vor sich gegangen. Aller Sauerstoff erscheint stets an dem Drahte, der mit dem positiven Pole der Batterie in Verbindung steht, und der Wasserstoff an dem andern Drahte. Dieser Umstand hat dem positiven Pole der Volta'schen Säule die Benennung Sauerstoffpol, und dem negativen die Benennung Wasserstoffpol zugezogen. Endiget sich der vom positiven Pole ausgehende Leitungsdraht im Wasser in ein leicht oxydirbares Metall, so erscheint dann kein Sauerstoff, aber das Metall wird oxydirt.

Mit einer einfachen Volta'schen Kette erhält man die Zerlegung des Wassers nicht leicht, weil der große Widerstand des Wassers gegen jenen im Elemente die Intensität des Stromes zu sehr herabsetzt. Indessen erhält man nach Andrews (Pogg. Ann. 41. 166) doch Spuren davon, wenn man einen der Polardrähte in eine Platinspitze, den andern in eine Platinplatte ausgehen läßt, und die Spitze der Platte möglichst nahe stellt. Es scheint, daß die in so geringer Menge sich entwickelnden Gase bei ihrem Entstehen sogleich von der Flüssigkeit absorbirt werden, wenn es nicht etwa gar eine Grenze gibt, über welche die Stromintensität sich erheben muß, um eine Zersetzung zu bewirken. Dagegen zeigt sich die Zerlegung des Wassers in der Flüssigkeit selbst, womit eine einfache Kette geladen ist, wenn man die Metalle derselben, z. B. Zink und Kupfer, außer der Flüssigkeit leitend verbindet, und zwar wird der Wasserstoff am Kupfer, der Sauerstoff am Zink entwickelt, aber gleich zur Oxydirung des letzteren verwendet. Hiernach erklärt sich der bereits in (109) beschriebene Versuch. Ein Gleiches geht in jeder einzelnen Zelle der Volta'schen Säule nach deren gewöhnlicher Einrichtung, wo sie aus Zink, Kupfer und verdünnter Säure besteht, vor sich. Da der (positive) elektrische Strom im Schließungsleiter der Säule vom positiven Pole zum negativen, in der Säule selbst vom negativen zum positiven geht, oder anders ausgedrückt: da der Strom dort, wo sich in der Säule Kupfer und Zink metallisch berühren, die Richtung vom Kupfer und Zink hat, so kann man auch allgemein sagen, der Wasserstoff erscheine so, als ob er in der Richtung des Stromes fortgeführt würde, und der Sauerstoff so, als ob er dem Strome entgegen ginge. Merkwürdig ist in Betreff der Gasentwickelung Bequerel's einfache Kette bloß aus Säure (Salpetersäure) und Basis (Aetzkali oder Natron) bestehend. Man erhält sie, wenn

man eine am unteren Ende mit einem Thonstöpsel, den man mit concentrirter Aetzkalilösung befeuchtet hat, verschlossene Glasröhre mit eben solcher Aetzkalilösung füllt, dann in ein Gefäß, worin sich concentrirte Salpetersäure befindet, setzt, und Alkali und Säure mittelst eines in Platinplatten ausgehenden leitenden Bogens verbindet. An der Platinplatte in der alkalischen Lösung entwickelt sich reichlich Sauerstoffgas, an jener in der Säure erscheint kein Wasserstoffgas, allein dessen ungeachtet findet Ausscheidung von Wasserstoff Statt, denn es wird durch selben der Salpetersäure Sauerstoff entzogen, was sich durch die Färbung der Flüssigkeit in Folge des Ueberganges eines Theiles der Salpetersäure in salpetrige Säure zu erkennen gibt. Hier geht der Strom in der Platinleitung von dem Alkali zur Säure, was auch ein eingeschalteter Multiplicator anzeigt.

Mittelst gemeiner oder Reibungs-Elektricität hat man die Wasserzersetzung bis jetzt noch nicht mit voller Sicherheit zu Stande bringen können, oder wenn es je anging, gewiß nur in einem äußerst schwachen Grade. Man bediente sich dazu feiner, in Glasröhren eingeschlossener Platindrähte, deren Spitzen hervorragten. Es kann aber dabei sogar an einer und derselben Spitze sich Sauerstoff und Wasserstoff zugleich entwickeln, wie Wollaston beobachtet hat. Diesen Effect muß man mit dem oben beschriebenen nicht in eine Linie stellen, denn das Wesen der elektrochemischen Zersetzung liegt gerade darin, daß hierbei die Zersetzungsproducte nicht vermengt, sondern gesondert erhalten werden. Aber selbst wenn es bewiesen wäre, daß das Wasser durch Maschinenelektricität nicht zersetzt werden könne, so würde dieß keinen wesentlichen Unterschied zwischen dem Strome dieser und der galvanischen Elektricität begründen, da Zersetzungen anderer Stoffe durch Reibungselektricität angehen, sondern der Grund des Nichtgelingens der Wasserzersetzung lediglich in quantitativen Verhältnissen der Reibungselektricität zu dem Widerstande, den der zu zersetzende Körper leistet, zu suchen seyn.

146. Auf ähnliche Weise, wie in dem so eben angeführten Falle das Wasser, verhalten sich noch viele andere zusammengesetzte Stoffe unter dem Einflusse eines elektrischen Stromes; sie zerfallen in die Jonen, aus denen sie bestehen. So gibt Salzsäure am positiven Pole Chlor, am negativen Wasserstoff; Kali oder Natron zerlegen sich, wie Davy zuerst fand, und eben dadurch die zusammengesetzte Natur dieser Alkalien nachwies, in Sauerstoff, der zum positiven Pole wandert und in das Metall, welches am negativen Pole erscheint; schwefelsaures Natron (Glaubersalz) setzt am positiven Pole freie Säure, am negativen das Alkali ab, u. dgl. m. Doch muß hier sogleich bemerkt werden, daß die Zersetzungsproducte sich nicht immer so an den Polen einfinden, wie sie durch den elektrischen Strom gesondert werden. Gleichwie nämlich ein Polardraht aus einem leicht oxydirbaren Metalle, von dem bei der Wasserzersetzung an ihm auftretenden Sauerstoffe angegriffen wird, daher der Sauerstoff ausbleibt, während der Wasserstoff, der zu einem solchen Metalle keine große Verwandtschaft zeigt, sich an demselben entwickelt; eben so können die Jonen nicht bloß mit dem von der Säule ausgehenden Stromleiter, sondern auch mit den Bestandtheilen des Auflösungsmittels der zu zersetzenden Substanz, indem dieses gleichzeitig zerlegt wird, in Verbindung treten,

wodurch die wahre Beschaffenheit der durch den elektrischen Strom unmittelbar erhaltenen Zersetzungsproducte und die Richtung, welche sie bezüglich der Pole einschlagen, in Zweifel gestellt werden kann; ja es läßt sich der Fall denken, daß durch den elektrischen Strom eigentlich nur das Auflösungsmittel zerlegt wird, und erst die aus demselben entspringenden Jonen die Zerlegung der aufgelösten Substanz herbeiführen, welche man hier fälschlich auf Rechnung des elektrischen Stromes setzen würde. In dieser Hinsicht spielt das Wasser eine wichtige Rolle. So gibt z. B. wässerige Jodkaliumlösung am positiven Pole Jod, am negativen Wasserstoffgas, während das Kalium mit dem Sauerstoffe des Wassers Kali bildet; schwefelsaures Kupferoxyd in Wasser gelöst, gibt am positiven Pole Sauerstoffgas, am negativen metallisches Kupfer, während in der Flüssigkeit sich freie Säure vorfindet; essigsaures Bleioxyd gibt am positiven Pole Bleihyperoxyd, am negativen Pole metallisches Blei. In den beiden letzteren Fällen ist wohl der Analogie mit der Zerlegung des schwefelsauren Natrons und anderen ähnlichen Fällen gemäß anzunehmen, daß von Seite des elektrischen Stromes das Metalloxyd zu dem negativen, die Säure zu dem positiven Pole zu gehen bestimmt sey, allein der Wasserstoff des Wassers zur Reduction des Metalles diene, so wie bei der Zerlegung des essigsauren Bleioxydes der Sauerstoff des Wassers sich mit dem Blei verbindet.

Jodkaliumlösung wird durch einen sehr schwachen elektrischen Strom zersetzt, ist daher ein empfindliches Reagens für strömende Elektricität, dem Froschpräparate (110) vergleichbar. Die durch das frei werdende Jod bewirkte Färbung der Masse trägt vornehmlich zur leichten Wahrnehmung der beginnenden Zerlegung bei. Sowohl die Becquerel'sche Kette, wie auch eine zamboni'sche Säule zersetzt Jodkalium, letztere wenn sie etwas kräftiger wirkt, auch Glaubersalzlösung (Rieß in Dove's Rep. 2. 48). Diese Lösungen werden nach Faraday's Methode in Fließpapier aufgesaugt zwischen Staniolspitzen auf eine Glastafel gelegt. Bringt man zwischen eine kleine längliche Platin- und eine gleiche Zinkplatte, die sich nicht metallisch berühren, auf der einen Seite etwas Jodkaliumlösung, auf der anderen verdünnte Schwefelsäure, der man etwas Salpetersäure zugesetzt hat, so findet beiderseits Zerlegung Statt; die verdünnte Säure gibt am Zink Sauerstoff, am Platin Wasserstoff; das Jodkalium am Platin Jod, am Zink freies Alkali, dessen Auftreten sich an einem Reagenzpapiere (Curcumäpapier) nachweisen läßt. Berühren sich aber das Platin und Zink metallisch, so erfolgt gleichfalls Zerlegung des Jodkaliums, aber die Jonen erscheinen in umgekehrter Ordnung. Die Zerlegung des Jodkaliums, wie auch des schwefelsauren Natrons läßt sich ohne Schwierigkeit mittelst der Reibungselektricität bewerkstelligen. Man muß jedoch bei letzterem Stoffe das Ueberschlagen von Funken vermeiden, weil diese in der Luft Salpetersäure bilden, und hiedurch das Resultat zweifelhaft oder gestört wird. Bringt man ein Stück Lackmuspapier, verbunden mit einem Stücke Curcumäpapier, beide mit Glaubersalzlösung befeuchtet, zwischen zwei Platindrähte, deren einer mit dem Conductor, der andere mit dem Reibzeuge in leitender Verbindung steht, so zeigen sich schon nach wenigen Umdrehungen der Scheibe an der Eintrittsstelle der positiven Elektricität, wo sich das Lackmuspapier befinden muß,

Spuren von Säure, an der Eintrittsstelle der negativen Elektricität Spuren von Alkali. Man kann auch die Verbindung mit dem Reibzeuge weglassen, wenn man die Elektricität durch eine entgegengestellte Spitze abführt. Mit einer Volta'schen Säule läßt sich ein solcher Versuch nicht wohl anstellen, weil ihr einfacher Strom zu schwach ist; doch ist es gestattet, anzunehmen, derselbe würde auch gelingen, wenn man im Stande wäre, den einfachen Strom hinreichend zu steigern.

Elektrochemische Zerlegungen stellen sich in der Natur viel häufiger ein, als man beim ersten Blicke wohl glauben möchte. Wo immer zwei heterogene Körper sich berühren, entsteht eine galvanische Kette, die durch einen dritten Körper ausgeladen wird, und chemische Wirkungen erzeugt. So schmeckt Wein aus einer zinnernen Kanne anders, als aus einem gläsernen oder thönernen Gefäße, weil hier die Flüssigkeit der Lippen und der Wein eine Kette bilden, die durch das Zinn entladen wird; Kupferplatten mit eisernen Nägeln zusammengenagelt gehen bald zu Grunde; gelöthete Gefäße werden zuerst an den Löthstellen matt; Quecksilber mit einem anderen Metalle gemischt, oxydirt sich leichter, als wenn es rein ist; bleierne, kalkführendes Wasser enthaltende Röhren werden nur an jenen Stellen durch abgesetzten Kalk verstopft, wo sie zusammengelöthet sind.

147. Um den Hergang elektrochemischer Zersetzung und die davon abhängenden Erscheinungen aus dem rechten Gesichtspuncte zu betrachten, ist es zweckdienlich die in hohem Grade naturgemäße Theorie derselben, zu welcher schon Grotthuß den Grund gelegt hat, die aber später von Faraday ausgebildet und gewissermaßen berichtiget wurde, vor Augen zu haben. Es seyen A, A', A'', A''',.... Theilchen des einen Jons, B, B', B'', B''',.... Theilchen des andern Jons eines Elektrolyten, mithin AB, A'B', A''B'', A'''B''',.... die Theilchen des Elektrolyten selbst. Die Art der Elektrolysirung läßt sich nicht anders begreifen, als durch die Annahme, daß die Verwandtschaft der Theilchen B, B', B'',... zu den in der Richtung des Stromes liegenden A', A'', A''',... und eben so die Verwandtschaft der letzteren zu den in der entgegengesetzten Richtung liegenden unter den ersteren, durch den Einfluß des elektrischen Stromes erhöht werde. Dieß hat zur Folge, daß die anfängliche Gruppirung einer gewissen Anzahl unmittelbar auf einander folgenden Theilchen des Elektrolyten, z. B. AB, A'B', A''B'', A'''B''' im nächsten Augenblicke in

A, A'B, A''B', A'''B'', B'''

übergeht u. s. w. Hier kommen nun folgende Fälle in Betrachtung: 1) Die an den äußersten Puncten der neugebildeten Reihe stehenden Theilchen A und B''' finden keinen Stoff, mit dem sie eine chemische Verbindung eingehen können. In diesem Falle werden sie ausgeschieden und in Freiheit gesetzt. 2) Sie grenzen an Theilchen eines im Schließungskreise befindlichen, d. h. als Elektricitätsleiter dienenden heterogenen Stoffes, zu welchem sie Verwandtschaft haben. Dann gehen sie mit diesen Theilchen eine Verbindung ein. Nun kommt es wieder darauf an, ob diese Verbindung in der umgebenden Substanz löslich ist, oder nicht. Ist letzteres der Fall, so wird die unlösliche Verbindung ausgeschieden; findet 3) der andere Fall Statt, so wird

der Austausch der Theilchen auch durch das neue Medium hindurch nach derselben Richtung fortgesetzt, bis sich endlich, was jederzeit eintritt, ein Stoff vorfindet, der diese äußersten Theilchen entweder in Freiheit läßt, oder vollkommen fesselt.

Als Beleg für 1) dient die Zersetzung des Wassers mittelst Platindrähten. Es ist aber gar nicht nöthig, daß die Körper, woran die Jonen in Freiheit gesetzt werden, feste Körper seyen; tropfbare können denselben Dienst leisten, wie nachstehender von Faraday herrührender Versuch zeigt: Man theile die obere Hälfte eines Glasgefäßes A (Fig. 252) durch eine Glimmerplatte in zwei Abtheilungen a und b, fülle in dasselbe eine starke Lösung schwefelsaurer Bittererde ein, bis sie etwa 1 Zoll über den unteren Rand der Scheidewand reicht; und gieße dann in eine Abtheilung auf die Salzlösung behutsam eine Schichte Wasser. Taucht man nun in die bloß Salzlösung enthaltende Abtheilung b den positiven, in die andere a den negativen Polardraht, deren jeder in eine Platinplatte sich endiget, die zu letzterem gehörende aber so, daß sie nicht bis zur Salzlösung hinabreicht; so wird alsogleich eine Blasenentwicklung eintreten, und die Salzlösung zersetzt werden. Aber die an der Seite des negativen Poles frei werdende Bittererde häuft sich nicht an der Polplatte an, sondern bleibt an der Grenzfläche des Wassers und der Salzlösung. Zum Beweise für 2) und 3) vertheile man die zu zersetzende Flüssigkeit, z. B. eine wässerige Glaubersalzlösung, in mehrere Gefäße A, B, C (Fig. 253), stelle dieselben in eine Reihe zusammen, verbinde sie mit einander leitend durch angefeuchtete Asbestfäden, und tauche dann die Polardrähte a und f in die zwei äußersten Gefäße, so findet auch nur in diesen ein Freiwerden der Bestandtheile des zersetzbaren Stoffes Statt; es erscheint nämlich, wenn a vom positiven Pol kommt, in A Säure, in C Alkali, in B keines von beiden, denn das Ganze stellt gleichsam nur ein Gefäß, das mit Glaubersalzlösung gefüllt ist, vor. Wollte man aber statt des Asbestes Drähte nehmen, so würde, wie es auch die Erfahrung wirklich bestätiget, an a, c, e die Gegenwart freier Säure, an b, d, f jene von Alkali sich durch die Reaction der Flüssigkeit in ihrer Nähe kund geben. Füllt man nun, während A und C Glaubersalzlösung enthalten, und die Verbindung der Gefäße unter einander mittelst der vorerwähnten, mit Wasser getränkten Asbestfäden geschieht, das mittlere Gefäß mit Barytwasser, so zeigt sich bei f Alkali, allein bei a keine Säure, sondern es fällt in dem Gefäße B unlöslicher schwefelsaurer Baryt nieder. Füllt man endlich, während b c und d e mit Salzlösung getränkte Asbestfäden sind, das mittlere Gefäß B mit Veilchensyrup, so bemerkt man daran keine Spur der Einwirkung einer Säure oder eines Alkali, ungeachtet man annehmen darf, es werde die Säure von e nach d, das Alkali von b nach c übergeführt. So wunderbar auch eine solche Ueberführung ohne näheres Eingehen in den eigentlichen Verlauf der Sache erscheinen mag, so ist doch dieselbe nicht nur eine Folge der obigen theoretischen Betrachtung, sondern man sieht ein, daß die Möglichkeit der Ueberführung durch die Verwandtschaft des übergeführten Stoffes zu dem Medium, durch welches er geht, bedingt wird, und um so besser erfolgt, je kräftiger diese Verwandtschaft ist. So z. B. hat Faraday gefunden, daß, wenn verdünnte Schwefelsäure und eine solche Quantität einer wässerigen Glaubersalzlösung, welche eben so viel Säure enthielt, zugleich einem und demselben elektrischen Strom ausgesetzt wurden, von der Schwefelsäure in ersterer Flüssigkeit $2\frac{1}{2}$ — 3 mal weniger von einem Pol zum anderen fortgeführt wurde, als von eben dieser Säure in letzterer, ungeachtet die Ver-

wandtschaft der Schwefelsäure zum Natrum viel größer ist, als zum Wasser.

148. Man glaubte früher, daß die Verschiedenheit der Anziehung, welche die Pole oder Enden der Polardrähte in Folge des elektrischen Stromes auf die Bestandtheile des zu zerlegenden Stoffes ausüben, die Kräfte seyen, welche die heterogenen Theilchen dieses Stoffes nöthigen, ihre relative Stellung zu ändern. In Folge dessen dachte man sich diese Theilchen selbst mit positiver und negativer Elektricität begabt, und sah die Sache so an, als würden die negativ elektrischen Theilchen zum positiven, und die positiv elektrischen zum negativen Pole der Säule stärker hingezogen, als sie unter sich zusammenhängen. Einen Stoff, der zum positiven Pole wandert, während ein anderer, der mit ihm verbunden war, zum negativen Pole geht, nannte man in Bezug auf letzteren elektro-negativ, und diesen in Bezug auf jenen elektro-positiv. Allein Faraday's wohl gewählte Versuche (147) haben gelehrt, daß die Producte der elektrochemischen Zerlegung nicht von den Polen angezogen, sondern nur an ihnen ausgeschieden werden, und daß die Pole hiebei von jeder andern in dem Schließungskreise vorkommenden Substanz vertreten werden können, sobald nur diese mit dem ausgestoßenen Jon keine chemische Verbindung eingeht. Alles kommt auf die Richtung des elektrischen Stromes an. Die Pole sind nur als die Thore zu betrachten, durch welche derselbe ein und austritt, oder von welchen aus vielmehr eine gewisse Wirkung, deren Ursache wir mit dem Worte Strom bezeichnen, sich fortpflanzt. Faraday hat daher für diese Eintritts- oder Austrittswege der elektrischen Action passendere Benennungen vorgeschlagen; er nennt sie Elektroden: die positive Elektrode insbesondere heißt nach ihm die Anode, die negative die Kathode. Ein Jon, welches zur Anode wandert, heißt Anion, und ein zur Kathode gehendes Kation. So erscheint also der Sauerstoff bei der Wasserzerlegung, wie auch in allen übrigen Fällen als Anion, der Wasserstoff als Kation.

Der sogenannten elektrochemischen Ansicht gemäß sucht man alle einfachen Stoffe in eine solche Reihe zu bringen, daß jeder vorangehende gegen jeden folgenden elektro-negativ ist, mithin bei der Aufhebung der Verbindung mit letzteren durch Einfluß strömender Elektricität an dem positiven Pole austritt, der andere dagegen am negativen. Nach Berzelius (Lehrbuch der Chemie, 3. Auflage, 5 Bd.) wäre ungefähr diese Reihe (für die im Jahre 1835 bekannten 54 einfachen Stoffe) folgende: Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Selen, Phosphor, Arsenik, Chrom, Vanadin, Molybdän, Wolfram, Bor, Kohlenstoff, Antimon, Tellur, Tantal, Titan, Kiesel, Wasserstoff, Gold, Osmium, Iridium, Platin, Rhodium, Palladium, Quecksilber, Silber, Kupfer, Uran, Wismuth, Zinn, Blei, Cadmium, Kobalt, Nickel, Eisen, Zink, Mangan, Cer, Thorium, Zirkonium, Aluminium, Yttrium, Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium, Baryum, Lithium, Natrium, Kalium. Nach dieser Ansicht wird bei der Zerlegung eines Salzes der negative Stoff als die Säure, der positive als die Basis betrachtet; der negative Bestandtheil einer Säure

muß als das säurende Princip, der positive als das Radical gelten. Sonach wäre in der Wasserstoffsäure der Wasserstoff das Radical, in den Sauerstoffsäuren der Sauerstoff (der negativste aller Stoffe) das säurende Princip, mithin eine Eintheilung der Säuren, bei welcher Sauerstoff- und Wasserstoffsäuren als Glieder erscheinen, logisch unrichtig und daher unzuläßig. Die schweren Metalle theilt Berzelius, je nachdem sie eine größere Neigung haben, in den negativen oder in den positiven Bestandtheil einer salzartigen Verbindung einzugehen, d. h. eine Säure oder eine Basis zu bilden, in elektronegative und in elektropositive Metalle. Erstere sind nach diesem großen Chemiker Selen (welches von ihm den Metallen beigezählt wird), Tellur, Arsenik, Chrom, Vanadin, Molybdän, Wolfram, Antimon, Tantal und Titan. Die übrigen schweren Metalle werden als elektropositive angesehen.

149. Faraday's Arbeiten haben auf das wichtige, seither auch durch Jacobi's besonders genaue Versuche bestätigte Gesetz geführt, daß der chemische Effect eines elektrischen Stromes, also die Quantität der binnen einer bestimmten Zeit zersetzten Menge eines Elektrolyten, der Kraft des Stromes, so wie sie durch das Ohm'sche Gesetz gegeben und durch Galvanometer angezeigt wird, gerade proportionirt ist. Da man nun aber das Ohm'sche Gesetz nach den in 120 ausgesprochenen Voraussetzungen, wie eine leichte Ueberlegung lehrt, auch so auffassen kann, daß man die Kraft eines Stromes überhaupt als den Ausdruck der Elektricitätsmenge ansieht, die durch jeden Querschnitt der Kette binnen einer festgesetzten Zeit geführt wird, so darf man sagen, eine bestimmte Elektricitätsmenge zersetze immer dieselbe Quantität eines gegebenen Stoffes, diese Elektricitätsmenge mag schnell oder langsam, mit größerer oder geringerer Dichte durchgeführt werden, vorausgesetzt, daß sie überhaupt die zur Erzeugung elektrolytischer Wirkungen nöthige Intensität hat. Die Leitungsfähigkeit der Polardrähte oder des feuchten Leiters kann wohl die Schnelligkeit des Stromes modificiren, aber nicht die Quantität der zersetzten Masse ändern. Wird ein Strom in mehrere einzelne Ströme getheilt, so wirken diese Ströme zusammen eben so, wie der ganze Strom für sich. Ein Stoff, der durch strömende Elektricität leicht zersetzbar und immer in derselben Qualität zu haben ist, und dessen Zerlegungsproducte sich leicht messen lassen, kann demnach zu einem Maßstabe für die in das Spiel getretene Quantität dieser Elektricität, oder, mit Rücksicht auf die Zeit, zu einem Maßstabe ihrer Stärke, mithin, wie Faraday sagt, zu einem Voltameter dienen. Ein solcher Stoff ist das Wasser, und jeder Apparat, worin man dieses durch einen elektrischen Strom zersetzen und die daraus entstandenen Gase messen kann, ist demnach ein passendes Voltameter.

Faraday wendete bei Versuchen über die Zersetzung des Wassers verschiedene Gefäße zum Auffangen der entwickelten Gase an, immer aber gingen die Platindrähte, welche den elektrischen Strom ins Wasser leiteten, in Platten aus. Er fand dieselbe elektrolytische Wirkung des Stromes, diese Platten mochten 0.7 Zoll breit und 4 Z. lang, 0.5 Z. breit und 0.8 Z. lang oder gar 0.02 Z. breit und 0.5 Z. lang seyn, nur

mußte dafür gesorgt werden, daß sich die Gase nicht wieder zu Wasser verbanden, und daß die Lösung derselben in Wasser möglich gering ausfiel. Als er drei Zersetzungsinstrumente aufstellte, wo sich der elektrische Strom, nachdem er durch das erste gegangen war, in zwei andere zertheilen und sich hierauf wieder vereinigen mußte, ergab sich die Summe der Gase in den zwei letzten Gefäßen gleich jenem in dem ersten. Es zeigte sich immer dasselbe Resultat, das Wasser mochte durch Schwefelsäure, durch Aetzkali oder Aetznatrum, durch Bittersalz oder Glaubersalz leitend gemacht worden seyn. Eben so wenig fand sich ein Unterschied in der zersetzenden Kraft der Elektricität, der positive Polardraht mochte aus Platin, Kupfer oder Zink bestehen. (Faraday in Pogg. Ann. 33. 316.) Es ist gleichgiltig wie die Batterie construirt sey, und aus welchem Materiale sie bestehe; sobald sie mit einer andern verglichen die Magnetnadel des gleichzeitig mit dem Wasserzersetzungsapparate in den Schließungskreis eingeschalteten Galvanometers um gleichviel ablenkt, zersetzt sie eben so viel Wasser als diese. (Vergl. Jacobi in Pogg. Ann. 48. 26.)

Bei dem Gebrauche des Voltameters ist es nicht nöthig beide Gase getrennt aufzufangen, es wäre denn zur Controlle des Resultates. Um die Füllung der Meßröhre nach jedem Versuche mit Bequemlichkeit verrichten zu können, setzt man sie auf den Hals einer Flasche, die mehr als noch einmal so viel Flüssigkeit faßt, als in die Röhre hineingeht, an den Flaschenhals dicht anschließend, dergestalt, daß wenn man die Flasche umkehrt, die Mündung der Röhre stets unter Wasser bleibt. Durch den Boden der Flasche führt man die in Platinplatten sich endigenden Elektroden. Zum Entweichen der Luft und der Gase bei dem Umleeren ist nahe am oberen Theile der Flasche eine sehr kleine Oeffnung gebohrt. Dem zu elektrolysirenden Wasser ist so viel Schwefelsäure zuzusetzen, daß die Flüssigkeit die Dichte 1,34 bekommt. Diese Mischung hat sich Faraday als die am wenigsten Gas absorbirende bewährt. Eine starke Säure absorbirt eine beträchtliche Menge Sauerstoffgas.

150. Eine fernere, höchst folgenreiche Entdeckung Faraday's ist das Gesetz, daß die Quantitäten der Jonen, welche ein und derselbe elektrische Strom aus verschiedenen Elektrolyten entwickelt, unter einander genau in denselben Verhältnissen stehen, in welchen sie sich chemisch verbinden, d. h. daß sie unter einander verglichen sämmtlich chemische Aequivalente sind. Bezüglich der Zersetzungsproducte eines einzelnen Elektrolyten ist dieß für sich klar, allein von einem Producte der Zerlegung eines Elektrolyten in Vergleichung mit dem, welches aus der Zerlegung irgend eines zweiten Elektrolyten entspringt, läßt sich das angeführte Gesetz ohne empirische Nachweisung nicht annehmen. Man nennt es das Gesetz der bestimmten (festen) elektrolytischen Action. Es läßt sich kurz so aussprechen: Zur Abscheidung chemischer Aequivalente aus ihren Verbindungen sind gleiche Elektricitätsmengen erforderlich, oder: die Ströme, durch welche gleiche Quantitäten verschiedener Stoffe ausgeschieden werden, verhalten sich verkehrt wie die Mischungsgewichte dieser Stoffe.

Um die Richtigkeit dieses Gesetzes an einer größeren Anzahl und an verschiedenartigen Fällen zu bekräftigen, war es nicht hinreichend bloß wässerige Lösungen der Einwirkung strömender Elektricität auszusetzen, denn wenn gleich dasselbe bei der Zerlegung der Chlor- und Jodwas-

serstoffsäure u. dgl. sich bewährt, so ist doch in andern Fällen die dabei Statt findende Wasserzerlegung augenscheinlich gerade der primäre, und die Zerlegung des aufgelösten Stoffes nur der secundäre Proceß. Es mußte die Theilnahme des Wassers gänzlich ausgeschlossen werden. Hier kam die schon früher gemachte interessante Bemerkung Faraday's zu Hilfe, daß eine bedeutende Anzahl von Stoffen, welche in festem Zustande die im Vergleiche mit der Maschinenelektricität nur mit schwacher Spannung versehene Elektricität der Volta'schen Säule nicht leiten, im geschmolzenen Zustande sich in gute Elektricitätsleiter verwandeln, und während sie die Elektricität leiten, auch zersetzt werden. Als Beispiel mag folgendes Ergebniß eines Faraday'schen Versuches dienen. Bei der Zersetzung von geschmolzenem Zinnchlorür fand er, daß das Gewicht der negativen Elektrode durch das an dem Platindraht frei gewordene und damit verbundene Zinn um 3,2 Gran zugenommen hatte. Durch denselben Strom wurden 3,85 engl. Kub. Zoll Gase aus Wasser erhalten, welche 0,49742 Gran wogen, indem 100 Kub. Z. solchen Gasgemenges 12,92 Gran wiegen. Setzt man das Aequivalent des Wasserstoffes = 1, so wird das Aequivalent des Wassers = 9 und man hätte, wenn man das Aequivalent des Zinnes x nennt, unter Voraussetzung der Richtigkeit des obigen Gesetzes

$0,49742 : 3,2 = 9 : x$ woraus $x = 57,9$ folgt, eine Zahl, die dem Mischungsgewichte des Zinnes so nahe kommt, daß man die Differenz den unvermeidlichen Fehlern eines Versuches dieser Art beimessen darf.

151. Das Gesetz der festen elektrolytischen Action gibt einen guten Anhaltspunct sowohl zur Beurtheilung der chemischen Aequivalente, als auch des Charakters der elektrochemischen Zersetzung. Producte, welche bei Gelegenheit der elektrischen Strömung an den Elektroden sich einfinden, und diesem Gesetze nicht entsprechen, können nicht primäre Resultate der Zersetzung, sondern nur secundäre Erzeugnisse seyn.

Auf diese Gründe gestützt schließt Faraday die Schwefelsäure, Phosphorsäure, Borsäure, auch Salpetersäure und Ammoniak u. m. a. von der Reihe der Elektrolyte aus; dieß hindert aber nicht, daß sie als Jonen auftreten. Stickstoff, Kohlenstoff, Phosphor, Bor, Aluminium haben sich bis jetzt noch nicht als Jonen gezeigt.

152. Was im Voltameter vorgeht, das findet auch in jeder einzelnen Zelle eines geschlossenen Volta'schen Apparates Statt; es wird dort eine dem elektrischen Strome angemessene Quantität des flüssigen Leiters zerlegt. Ist dieser Apparat eine Zinkkupfersäule mit verdünnter Säure geladen, so muß, weil die Stärke des elektrischen Stromes im Schließungskreise nothwendig überall dieselbe ist, die Oxydation des Zinkes, also der Zinkverbrauch in jeder Zelle, genau der Quantität des zersetzten Wassers in dem in die Kette eingeschalteten Voltameter entsprechen. Fände es sich, daß mehr als 1 Aequ. Zink in jeder Zelle für jedes Aequ. zersetzten Wassers consumirt würde, so wäre dieß als ein Zeichen einer localen, von dem elektrischen Strome der Säule independenten chemischen Action anzusehen, die, wenn sie auch auf elektrische (jedoch locale) Strömung sich gründet, zum Effecte der Säule nichts beiträgt.

Derlei locale Wirkungen kommen bei elektrischen Ketten immer vor, und es handelt sich darum, sie auf ein Minimum herab zu setzen. Je niedriger dieses ausfällt, desto vollkommener ist die Construction der Kette. Da die Quantität des durch den in der ganzen Kette circulirenden Strom in einer Zelle zerlegten Wassers, mithin jene des daselbst gebildeten Zinkoxydes der Stärke des Stromes proportionirt ist, so kann ein gegebener Effect der Säule ohne eine entsprechende Zinkconsumtion nicht bestehen; jede weitere Zinkconsumtion aber ist localen Wirkungen zuzuschreiben. Eine solche ist die Auflösung des Zinkes in der Flüssigkeit bei nicht geschlossener Kette; daher der Nutzen des Amalgamirens der Zinkplatten. Um ein Beispiel einer Vergleichung des zur Erzielung des Effectes einer Säule nöthigen Zinkaufwandes mit dem wirklichen Zinkverbrauche zu geben, wählen wir jenes auf eine im größeren Maßstabe construirte Batterie sich beziehende, welches Jacobi anführt (Pogg. Ann. 48. 56). Der galvanische Apparat bestand aus 3 Batterien, jede zu 50 Paaren, nach Daniell's Princip eingerichtet, mit wohl amalgamirten Zinkplatten von 6″ Seite; die Ladung auf der Kupferseite aus Kupfervitriol, auf der Zinkseite aus einer etwas verdünnten Lösung von schwefelsaurem Kali. Der Wasserzersetzungsapparat enthielt 12 Paar Platinplatten, jede von 15 Qu. Zoll Fläche in gesonderten Zellen. Die Zink- und Kupferpole der 3 Batterien wurden so verbunden, daß das Ganze einer Batterie von 3facher Plattenfläche entsprach. Nach 7 Stunden waren 3,42 engl. Kub. Fuß Knallgas erzeugt worden und die Zinkplatten hatten 189,5 Solotnik an Gewicht verloren (1 Pf. ruff. = 0,7303 Wien. Pf. enthält 96 Solotnik); das Gewicht jenes Gases ist 12,19 Solotnik, mithin wurde auch ein gleiches Quantum Wasser zersetzt. Da den 12 Wasserzersetzungszellen 50 Batterie-Zellen entsprechen, so waren zu 12 Aequ. Wasser 50 Aequ. Zink erforderlich; dieß gibt, wenn 1 Aequ. Wasser = 9 und 1 Aequ. Zink = 32,5 gesetzt wird, nach der Proportion: $12 \cdot 9 : 50 \cdot 32,5 = 12,19 : x$ die nöthige Zinkconsumtion $x = 183,4$, was einen Verlust von 6,1 Sol., mithin 3,2 Procent der Totalconsumtion an Zink ausweiset.

153. Die Erscheinungen, welche die Zerlegung zusammengesetzter Stoffe durch Vermittelung eines Volta'schen Stromes begleiten, geben nicht nur nützliche Winke zur zweckmäßigsten Construction eines Volta'schen Apparates, und lassen die Gründe der Vortheile erkennen, welche die neueren Einrichtungen desselben nach Daniell, Grove u. A. gewähren, sondern haben bereits auch auf wichtige practische Anwendungen geführt, als: Jacobi's Galvanoplastik, die von de la Rive, Böttger u. A. cultivirten Methoend Metalle oder andere leitende Substanzen mit Metallüberzügen zu bekleiden; Bequerel's Verfahren, Metalle aus ihren Erzen abzuscheiden. Auch Nobili's elektrochemische Figuren verdienen hier erwähnt zu werden.

Ladet man eine Zinkkupferbatterie mit Kupfervitriollösung, so wird bei kräftiger Wirkung in dem Troge oder in den Zellen kein Gas entwickelt, was diese Flüssigkeit sehr empfiehlt; das Hydrogen des zerlegten Wassers dient zur Reduction des Kupfers, und der Sauerstoff zur Oxydation des Zinkes. Das Gas, welches sich z. B. bei dem Gebrauche der verdünnten Schwefelsäure als leitende Flüssigkeit entbindet, ist nicht nur lästig, sondern die Gasblasen, welche an dem Kupfer hart-

näckig adhäriren, thun auch der Kräftigkeit des Stromes Eintrag. Doch kommt bei Anwendung des Kupfervitriols Zinkoxyd mit der Kupferfläche in Contact, adhärirt derselben, wird durch das entstehende Wasserstoffgas theilweise reducirt, es bilden sich locale Ketten, was dem Effecte schadet, und die Kraft der Batterie bald namhaft schwächt. Durch Einschaltung einer porösen Scheidewand zwischen Kupfer und Zink in jeder Zelle wird diesem Uebelstande vorgebeugt, es kann kein Zinkoxyd an die Kupferplatte, und es setzt sich das reducirte Kupfer rein an selbe ab, deren Dicke dadurch zunimmt. Dieser Umstand kann benützt werden, die Kupferplatten durch die Wirkung der Batterie selbst erst zu erzeugen, indem man denselben für den Anfang dünne Platten aus einem andern wohlfeilen Metalle, Eisen oder Blei, substituirt.

Bildet sich der Kupferüberzug in einem geschlossenen Daniell'schen Elemente oder in der in eine galvanische Kette eingeschalteten, Kupfervitriollösung enthaltenden Zersetzungszelle nicht zu rasch, so fügen sich die frei werdenden Kupfermolekel zu einer compacten Masse von gleichförmiger Dicke an einander, die sich von der Kathode unversehrt wegnehmen läßt, in der jede Erhöhung oder Vertiefung, die auf der Kathode sich befindet, bis auf die feinsten Lineamente abgedrückt erscheint. Dieß hat Jacobi zuerst wahrgenommen und darauf ein Verfahren gegründet, Gebilde von Kupfer nach jedem gegebenen Model durch Fällung dieses Metalles aus Kupfervitriollösung auf galvanischem Wege darzustellen, welches Verfahren er Galvanoplastik nennt. Münzen, Medaillen, gravirte Metallplatten u. dgl. lassen sich dadurch auf das Vollkommenste in Kupfer, und zwar nach Belieben erhöht oder vertieft wieder geben. Es ist nicht nöthig das Original unmittelbar dem galvanischen Strome auszusetzen, ja dieses braucht nicht einmal von Metall zu seyn; ein Abdruck in leichtflüssigem Metalle (nach Böttger am besten aus 8 Th. Wismuth, 8 Th. Blei und 3 Th. Zinn bestehend), ja sogar in Gips oder in Stearin, deren Oberfläche man durch Auftragen feinen Graphits oder auf andere Art leitend gemacht hat, genügt. Einzelne kleinere Stücke behandelt man am bequemsten in einem Apparate von der Form Fig. 254, wo das äußere Gefäß gesättigte Kupfervitriollösung, das innere, aus einem unten mit thierischer Blase geschlossenen Glascylinder bestehend, aber Wasser mit Zusatz von etwas Schwefelsäure oder Kochsalz enthält. Auf den aus Kupferdraht gebildeten Träger ABC wird oben bei A eine (amalgamirte) Zinkplatte, unten aber die in Kupfer darzustellende Form gelegt. Man überläßt das Ganze mehrere Tage sich selbst, von Zeit zu Zeit (allenfalls nach 24 Stunden) die Säure erneuernd, und die Kupfervitriollösung auf den gehörigen Grad von Concentration zurückführend. Zu größeren oder mehreren Gegenständen bedient man sich einer aus einigen Elementen bestehenden Batterie, und einer eigenen Zersetzungszelle mit concentrirter Kupfervitriollösung gefüllt, in welcher man die Model für den Kupferniederschlag mit der Kathode der Batterie in Verbindung setzt. Ist die Anode von Kupfer, so wird diese durch die frei gewordene Schwefelsäure in dem Maße aufgelöset, als sich Kupfer an die Kathode ansetzt, so daß dieses gleichsam von der Anode zur Kathode wandert. Es ist unerläßlich in den Schließungskreis eine Boussole einzuschalten, um die Stärke des Stroms nicht über eine gewisse Grenze gehen zu lassen, wie auch allzu großer Schwächung desselben vorzubeugen. Damit nicht Theilchen, die sich von der zu Grunde gehenden Anode ablösen, die Kathode verunreinigen, umgibt man die Anode mit Leinwand. Das Product wird von

dem Model durch Anfeilen leicht getrennt. (Die Galvanoplastik. Von M. H. Jacobi. St. Petersburg 1840.)

Auf ähnlichen Grundsätzen beruht die Vergoldung des Silbers, Messings, Stahles, das Ueberziehen der Metalle mit Platin, das Verzinnen, Verzinken u. s. w. auf galvanischem Wege. Man bringt in die Zersetzungszelle eine stark verdünnte Lösung von Chlorgold, Chlorplatin rc. in Wasser mit Zusatz von eben so viel Kochsalz, in welche man den mit der Kathode verbundenen Gegenstand mehrere Male, aber jedesmal nur kurze Zeit eintaucht, und darauf abtrocknet (Böttger, Beiträge zur Physik und Chemie 2. 86; 100). Nur ist es bis jetzt noch nicht gelungen, derlei Ueberzüge von der Form zu trennen, welche Eigenschaft daher dem Kupfer ausschließend zuzukommen scheint. Es muß noch bemerkt werden, daß sich Kupfergebilde auch durch successives Anlegen des Kupfers von außen mit glatter Oberfläche darstellen lassen.

Läßt man einen sehr schwachen elektrischen Strom durch dünne Drähte in die zu zersetzende Flüssigkeit gehen, so können sich die sehr langsam frei werdenden kleinsten Theile ganz regelmäßig, eines nach dem anderen anordnen, so daß man auf diesem Wege manchen Körper krystallisirt erhält, der bei keinem anderen Mittel in Krystallform erscheint. (Becquerel in Zeitschr. 6. 351; 8, 93.)

Läßt man eine Elektrode in eine polirte Metallscheibe ausgehen, während die andere in eine Spitze ausläuft und der Ebene dieser Scheibe senkrecht gegenüber steht; so legt sich meistens das Product der Zersetzung, welches an dem der Scheibe entsprechenden Pole erscheint, in Form concentrischer Kreise an, deren Mittelpunct der Spitze der anderen Elektrode gerade gegenübersteht. Nobili hat diese ringförmigen Ablagerungen mit besonderem Fleiße untersucht. Man bringt sie mit sehr schwachen elektrischen Strömen in kurzer Zeit hervor. Essigsaures Kupfer mit Salpeter gemischt, gewährt an einer mit dem negativen Pole verbundenen, polirten Silberplatte eine schöne Erscheinung dieser Art. (Nobili in Zeitschr. 2. 435; 3. 65 Pogg. Ann. 33. 537. Schweigg. J. 54. 40.) Nach Fechner reicht es zur Erzeugung solcher Figuren hin, die in einer essigsauren Kupferoxydlösung befindliche Silberplatte einige Minuten lang mit einem Zinkstäbchen zu berühren. (Schweigg. J. 55. 442.)

154. Ein elektrischer Strom kann nicht bloß chemische Wirkungen hervorbringen, sondern auch solche, die nach den gewöhnlichen Affinitätsgesetzen, aber in einem der Tendenz des Stromes entgegengesetzten Sinne eintreten sollen, hindern. Legt man ein Stück Eisen in eine Schale von Glas oder Porcellan, und übergießt es mit verdünnter Salpetersäure, so löset sich dieses Metall in der Säure auf. Berührt man es aber mit einem Stückchen Zink, so wird das Eisen nicht mehr angegriffen, dafür aber das Zink, und erst wenn letzteres ganz aufgezehrt ist, kommt die Reihe wieder an ersteres. Dasselbe erfolgt mit Kupfer, Zinn, Blei oder Silber, oder wenn man Schwefelsäure oder Salzsäure der Salpetersäure substituirt. Selbst Gold und Platin werden durch Zink gegen die Einwirkung des Königswassers geschützt.

Man kann sich den Hergang bei diesen Erscheinungen so vorstellen: Wenn Eisen in Salpetersäure getaucht wird, so entsteht ein elektrischer Strom zwischen der Flüssigkeit und dem Metalle, und dieser bedingt die Zersetzung eines Theiles der Säure und die Oxydation des Metalles auf

Kosten des von ihr frei gewordenen oder bereits in ihren Poren enthaltenen Sauerstoffes. Daß sich das Oxyd in der übrigen Säure auflöset, bedarf keines weiteren Beweises, und wird durch die gewöhnlichen Affinitätsgesetze vermittelt. Berührt man aber das Eisen mit Zink, so tritt ein anderer, entgegengesetzter Strom auf, der stärker ist als der erstere, und durch dessen Einfluß das Zink, nicht das Kupfer oxydirt wird, eben weil er in seiner Richtung dem vorigen entgegengesetzt ist. Dieses Oxyd ist es, welches nun in der Säure aufgelöset wird. Demnach hängt das Angegriffenwerden des einen oder anderen Metalles nur davon ab, welches von beiden durch den Einfluß des elektrischen Stromes oxydirt wird; auf den weiteren Verlauf hat die Elektricität keinen Einfluß mehr. Daß Eisen durch bloße Berührung mit Zink in feuchter Luft nicht vor Oxydation geschützt werden könne, ist daraus erklärbar, daß der elektrische Strom, zu welchem durch Berührung der zwei Metalle die Tendenz vorhanden ist, wegen zu geringer Leitungsfähigkeit der feuchten Luft nicht zur Wirklichkeit kommen kann. Auf diesen Grundsätzen beruht die Schützung des Kupferbeschlages von Schiffen durch Zink, Eisen &c. gegen Einwirkung des Meerwassers nach Davy, auch Sorel's galvanisirtes Eisen.

155. Nimmt man an, daß die Tendenz zu einem elektrischen Strome und unter günstigen Umständen der Strom selbst in einem Metalle die diese Tendenz erzeugende Ursache überdauert, so erklären sich, wenigstens nach dem gegenwärtigen Standpuncte der Wissenschaft, alle jene Erscheinungen, die Schönbein neuestens wieder hervorgehoben und mit neuen, sehr interessanten vermehrt hat, und die sich darauf beziehen, ein Metall gegen eine Säure, die es im natürlichen Zustande stark ergreift, ganz indifferent zu machen.

Setzt man einen Eisendraht einige Augenblicke mit dem positiven Pole einer Volta'schen Säule in Berührung, so wird er hierauf von Salpetersäure, die so verdünnt ist, daß ihr sp. Gew. 1.35 nicht überschreitet, nicht angegriffen; er gibt mit Platin oder Silber kein wirksames Volta'sches Element mehr, oxydirt sich, als Polardraht einer elektrischen Säule gebraucht, am Pole nicht, zersetzt den Kupfervitriol nicht mehr, kurz er verhält sich, wie Schönbein sagt, ganz passiv. Diese Passivität erlangt er auch auf andere Weise, z. B. durch Glühen und Anlaufen in der Luft, und zwar nicht bloß an der geglühten oder angelaufenen Stelle; nur muß man das geglühte Stück zuerst in die Flüssigkeit tauchen, gegen die er passiv seyn soll; er theilt diese seine Eigenschaft einem anderen Eisendraht mit, der um das nicht geglühte Ende festgewunden, oder mittelst eines Platindrahtes damit verbunden ist. Dieser passive Zustand hört mit der Zeit von selbst auf, und zwar ist selber nach Verschiedenheit der Mittel, durch die er erzeugt wurde, auch verschieden. Erhitzt man die Salpetersäure, gegen welche ein Eisendraht passiv ist, bis gegen 88°, oder erschüttert man das aus der Säure hervorragende Ende heftig, oder bringt man zwei passive, in derselben Säure befindliche Drähte an der obersten Fläche mit einander in Berührung &c., so wird die Passivität augenblicklich aufgehoben. (Pogg Ann. 37. 390, 590; 38. 444, 492; 39. 122. 43. 1, 13. Das Verhalten des Eisens zum Sauerstoffe von Schönbein. Basel 1837.)

Das Hinausreichen der Wirkung der Elektricität auf einen Körper über die Dauer ihrer Existenz beweisen bestimmte Erfahrungen. Die Polardrähte, welche eine Zeit lang zur Zersetzung eines Körpers, z. B. des Wassers, durch den elektrischen Strom gedient haben, erlangen dadurch

die Kraft, diese Zerlegung selbst dann noch anhaltend, und zwar oft mehrere Tage fortzusetzen, nachdem sie von der Säule getrennt worden sind; ja man kann sie aus der Flüssigkeit herausnehmen und reinigen, ohne ihnen dadurch ihre Kraft zu nehmen. Nach Pfaff sind nicht alle Metalle hiezu in gleichem Grade geeignet, und zwar Eisen- und Zinkdrähte im höchsten Grade, in einem geringeren Silber-, Platin-, und Golddrähte; an Messing- und Bleidrahten bemerkt man hiervon nichts. Aber wenn auch solche Drähte kein Wasser mehr zersetzen, so ist doch die Tendenz, dieses zu thun, noch nicht verschwunden, denn sie geben oft auf andern Wegen noch Zeichen eines vorhandenen elektrischen Stromes.

156. Die Wirkung zwischen den Polardrähten und den Bestandtheilen der Körper und die durch Elektricität begünstigte Verbindung der in der Kette befindlichen Körper bewirkt besondere, oft sehr interessante Bewegungen, die schon vor mehreren Jahren von Erman entdeckt, aber erst in der neueren Zeit von Herschel, Pfaff, Runge u. A. genauer beachtet wurden. Bedeckt man Quecksilber mit einer dünnen Schichte einer leitenden Flüssigkeit, z. B. Schwefelsäure, und setzt die zwei Pole mittelst Platindraht mit dieser in leitende Verbindung, ohne durch sie das Quecksilber zu berühren; so entstehen Strömungen, die nach Umständen bald von einem, bald von beiden Polen ausgehen, bald eine gerade, bald eine krumme Bahn einschlagen, und sich überhaupt nach der Natur des flüssigen Leiters, nach der Reinheit und Menge des Quecksilbers, und nach der Stärke der Adhäsion desselben an das Gefäß, worin es sich befindet 2c., richten. Starke Säuren geben auch starke Strömungen, so daß man sie schon mit einer einfachen Kette hervorbringen kann.

In einer sauren Flüssigkeit wird das Quecksilber vom positiven Pole weggetrieben, in einer alkalischen gleichsam angezogen. Berührt bei Anwendung eines Alkali der negative Polardraht das Quecksilber, so plattet es sich ab, es beginnt eine Strömung vom positiven Pole aus, und dauert noch einige Zeit fort, nachdem der Draht zurückgezogen worden; berührt aber der positive das Quecksilber, so erfolgt eine schwache Contraction, das Quecksilber oxydirt sich und wird zähe. Uebergießt man Quecksilber $1/_2$ L. hoch mit einer gesättigten Kochsalzlösung und legt einen kleinen Kupfervitriolkrystall vorsichtig darauf; so wird das Quecksilber allmälig matt und überzieht sich mit einer Haut. Berührt man es durch die Salzlauge mit einem Stücke reinen Eisen, so zerreißt die Haut und verliert sich, es beginnen Strömungen, der Krystall vermindert sich zusehends und verschwindet endlich ganz. Eben so geräth ein kleiner Quecksilbertropfen in einer gesättigten Auflösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul in eine heftige rotirende Bewegung, wenn man ihn mit einem reinen Zinkstäbchen berührt, und diese Bewegung hört nicht eher auf, als bis die Bildung des Zinkamalgams vollendet ist. (Schweigg. J. 48. 190. Pogg. Ann. 8. 106; 17. 472.)

Viertes Kapitel.

Inducirte elektrische Ströme.

157. Im Jahre 1831 machte Faraday die wichtige Entdeckung, daß ein elektrischer Strom unter gewissen Umständen in einem nahen Leiter einen elektrischen Strom zu erzeugen vermag. Nachstehendes wird hierüber nähere Auskunft ertheilen: Man denke sich zwei neben einander fortlaufende, jedoch isolirend getrennte Leitungsdrähte A und B. Werden die Enden von A mit Einschaltung eines Galvanometers unter einander leitend verbunden, hierauf die Enden von B mit den Polen einer Volta'schen Kette in Verbindung gesetzt, so entsteht in dem Augenblicke, in welchem die Kette durch B geschlossen wird, wie man mittelst des Galvanometers sehen kann, in A ein elektrischer Strom, dessen Richtung jener des Stromes in B entgegengesetzt, dessen Dauer aber nur äußerst kurz ist; denn die Galvanometernadel bleibt, obgleich der Strom in B anhält, nicht abgelenkt, sondern kommt nach den gewöhnlichen Schwingungen wieder zur Ruhe. Oeffnet man, nachdem die Nadel in Ruhe gebracht wurde, die Kette B, so daß der Strom in selber aufhört, so zeigt sich in dem Leiter A abermals ein elektrischer Strom, gleichfalls von nur momentaner Dauer, dessen Richtung aber jetzt mit jener, welche der Strom in B hatte, übereinstimmt. Dieselben Phänomene zeigen sich auch, während in B ein elektrischer Strom circulirt, wenn nur dessen Intensität plötzlich erhöht wird, oder plötzlich abnimmt, oder auch wenn der Leiter B mit der Volta'schen Kette in Verbindung, jedoch von dem Leiter A entfernt ist und einer dem andern plötzlich genähert wird, und eben so, wenn beide Leiter einander nahe stehen und plötzlich von einander entfernt werden; der elektrische Strom in B erregt bei der Annäherung an A in letzterem einen Strom von entgegengesetzter, bei der Entfernung einen Strom von gleichlaufender Richtung. Im Allgemeinen kann man sagen, daß jede Aenderung der elektrodynamischen Action des Leiters B auf A einen momentanen elektrischen Strom in A zur Folge hat; die Steigerung dieser Action einen Strom, der den Strom in B abstößt, die Verringerung einen Strom, der den in B vorhandenen anzieht. Man nennt den in A entstehenden Strom einen secundären oder inducirten; den in B vorhandenen den primären oder inducirenden.

Man macht diese Grundversuche am evidentesten mittelst zweier multiplicirenden Drahtgewinde, die man auf den Rand zweier runden Scheiben wickelt. Man verbindet eines der Drahtgewinde mit dem Galvanometer, das andere nach Erforderniß mit der Volta'schen Kette, und legt entweder die Scheiben auf einander, oder man nähert rasch eine der andern, oder man entfernt eine von der andern, und beobachtet die Anzeigen der secundären Ströme am Galvanometer.

158. Nach diesen Thatsachen läßt sich mit Grund erwarten, daß die Existenz der secundären elektrischen Ströme sich auch durch andere Wirkungen, als: Zuckungen an Froschschenkeln, Geschmack auf der Zunge, Lichterscheinung vor dem Auge, Funken, Magnetisirung einer

Stahlnadel u. dgl. kund geben werde. Dieß ist nicht nur der Fall, sondern der secundäre Strom kann, wenn gleich der primäre nur von einem einzigen Volta'schen Elemente herrührt, sehr starke Stöße hervorbringen, ja es ist dazu nicht einmal nöthig, daß er in einem abgesonderten Drahte entstehe, sondern ein elektrischer Strom erzeugt bei dem Erlöschen sogar in seinem eigenen Leiter einen secundären Strom.

Wickelt man auf einen einige Zoll langen, etwa 1 Zoll dicken Holzcylinder 4—5 Lagen eines $^3/_4$—1 Lin. dicken, mit Seide besponnenen Kupferdrahtes und darüber viele Lagen eines feinen Drahtes, dessen Windungen gleichfalls durch Seide von einander isolirend getrennt sind; bringt man an den feinen Drahtenden metallene Cylinder als Handhaben an, und läßt man durch den dicken Draht den Strom eines Volta'schen Elementes, jedoch mit rasch auf einander folgenden Unterbrechungen, gehen, die man hervorbringt, wenn man in die Kette einen Unterbrecher (126) einschaltet, zu welchem Behufe auch mit Vortheil ein rotirender Ritschie'scher Elektromagnet dienen kann, der nicht erst bewegt zu werden braucht; so fühlt man, die Metallcylinder mit nassen Händen fassend, heftige Zuckungen, und sieht, wenn man die feinen Drahtenden mit einander in Berührung bringt und trennt, zwischen denselben helle Funken. Entladet man ein Volta'sches Element mittelst eines auf einen Holzcylinder gewundenen, nicht zu dünnen, mit einem Seidenüberzuge bekleideten Drahtes von großer Länge, so gewahrt man bei der Unterbrechung der Schließung einen viel stärkeren Funken, als ihn das Element mit einem kurzen Schließungsleiter auf die gewöhnliche Art entladen gibt; verbindet man noch mit den Drahtenden Metallcylinder, die man mit den Händen faßt, so daß man auch nach der Unterbrechung des Schließungskreises des Volta'schen Elementes mit dem Drahtgewinde einen geschlossenen Leiter bildet, so empfindet man bei jeder Trennung der Volta'schen Kette eine Erschütterung. Die bedeutende physiologische Wirkung des in einem langen Drahtgewinde entstehenden secundären Stromes ist eine Folge des Aufeinanderwirkens der einzelnen Windungen und des größeren Leitungswiderstandes im Drahte, welcher die Einfügung eines ferneren Widerstandes leichter verträgt (124). Will man durch den secundären Strom eine Stahlnadel magnetisch machen, so darf man nicht vergessen, daß die Wirkungen beim Schließen und Oeffnen der primären Kette einander entgegengesetzt sind, und einander daher ganz oder zum Theile tilgen. Es muß also die Nadel sich in der dem secundären Leiter entsprechenden Schraube schon befinden, ehe die primäre Kette geschlossen wird, und vor Oeffnung letzterer entfernt werden, oder man muß dieselbe nach Schließung der primären Kette in erwähnte Schraube bringen und nach Oeffnung der Kette untersuchen.

159. Der elektrische Strom einer Leidnerflasche erregt in geschlossenen Leitern, die dem Schließungsdrahte nahe stehen, gleichfalls inducirte Ströme, deren Beschaffenheit erst kürzlich von Rieß untersucht wurde. Dieser Gelehrte zeigte durch sorgfältige Versuche (Magnetisirung von Stahlnadeln, wie auch Erzeugung von Figuren auf einer Harzfläche betreffend), daß der secundäre Strom (Nebenstrom) stets eine mit der des Hauptstromes gleichlaufende Richtung habe. Aus der Erwärmung eines in ein Luftthermometer eingeschlossenen Platindrahtes konnte auf die Menge der strömenden Elektricität und auf die Schnelligkeit der Entladung geschlossen werden; es ergab sich, daß die Elektri-

citätsmenge im Nebendrahte jener im Hauptdrahte und der wirksamen Länge dieses Drahtes direct, dem Abstande beider Drähte verkehrt proportionirt ist, und in einer der Dauer der Hauptentladung proportionirten Zeit circulirt, übrigens aber nicht von der Leitungsfähigkeit des Nebendrahtes abhängt. Der Nebendraht selbst wirkt auf die Entladung in dem Hauptdrahte zurück; er verändert zwar nicht die entladene Elektricitätsmenge, wohl aber die Dauer der Entladung, welche er in dem Maße verzögert, als die Vollkommenheit der Leitung in ihm selbst jener im Hauptdrahte nachsteht; diese Verzögerung nimmt bei Vergrößerung der Länge der Schließung des Nebendrahtes bis zu einem Maximum zu, welches um so größer ist, und erst bei einer um so größeren Länge des bloß schließenden Theiles des Nebendrahtes erreicht wird, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt. Bei noch weiter fortgesetzter Verlängerung des schließenden Theiles des Nebendrahtes nimmt dessen Einfluß auf den Strom im Hauptdrahte wieder ab. Es läßt sich die Wirkung aus der Annahme begreifen, daß die Entladung der Batterie eine Folge partieller Entladungen ist, deren jede ihren Nebenstrom erzeugt, der wieder auf den Hauptstrom reagirt und mehr oder weniger in die nächste partielle Entladung eingreift. Befinden sich zwei Nebendrähte in der Nähe des Hauptdrahtes, so ist der Strom in jedem schwächer, als wenn der andere nicht vorhanden wäre; ist statt des einen Nebendrahtes eine Metallplatte vorhanden, so steht die Stärke des Stromes im Nebendrahte mit der Dicke der Platte in verkehrtem Verhältnisse: wird eine sehr dicke Metallplatte oder irgend eine Platte aus einem isolirenden Stoffe zwischen den Haupt- und Nebenstrom eingeschaltet, so findet kein merklicher Einfluß derselben auf den Nebenstrom Statt, so daß hier nichts vorkommt, was dem von Faraday bei der statischen Induction in Betrachtung gezogenen specifischen Inductionsvermögen der Medien analog wäre. Ein Theil des Schließungsdrahtes einer Batterie übt auf einen andern Theil dieses Drahtes keine Induction aus. Bei der Magnetisirung einer Nadel durch den Nebenstrom stellen sich ähnliche Anomalien ein, wie bei der Magnetisirung durch den Hauptstrom (137), nur daß hier nebst der Länge der Nebenschließung auch noch der Umstand, ob sie irgendwo unterbrochen ist, so daß ein Funke überspringen muß oder nicht, ferner die Dichte der Ladung der Batterie, die Länge der Hauptschließung und noch andere Umstände in das Spiel treten, deren Erörterung noch weitere Untersuchungen verlangt. (Ueber diese Gegenstände siehe die klassischen Abhandlungen in Pogg. Ann. 47. 55; 49. 393; 50. 1; 51. 177 u. 351.)

160. Dem Entdecker der Induction elektrischer Ströme konnte die Vermuthung nicht entgehen, daß, so wie ein Magnet bei den Erscheinungen, die auf der Anziehung und Abstoßung elektrischer Ströme beruhen, einem Systeme paralleler elektrischer Ströme analog wirkt, er sich auch bezüglich der Induction auf ähnliche Weise verhalten werde. Die Erfahrung bestätigte diese Uebereinstimmung auf das Vollkommenste, und es lassen sich daher alle inducirten Effecte der Magnete

mit Zugrundelegung der Ampère'schen Vorstellungsweise (143) nach dem Fundamentalgesetze der Induction elektrischer Ströme vorhersagen. Doch kann dieß keineswegs als ein entscheidender Grund für die Richtigkeit der Ampère'schen Hypothese gelten; denn es folgen sämmtliche Phänomene eben so einfach aus der Annahme, daß jedes mit einem bestimmten Magnetismus versehene Theilchen um unendlich wenig aus seiner Position verschoben, gegen jeden Punct im Raume ein Bestreben äußere, die dort vorhandenen Elektricitäten zu trennen, und zwar nach entgegengesetzten Richtungen, die senkrecht gegen die Ebene stehen, welche durch die von dem magnetischen Theilchen beschriebene Linie und durch den Punct gelegt ist, so daß die positive Elektricität nach der einen, die negative nach der andern Seite hin getrieben oder in Strömung versetzt wird. Die Richtung, nach welcher das magnetische Theilchen die positive Elektricität zur Bewegung anregt, muß hier als die entgegengesetzte derjenigen Richtung betrachtet werden, nach welcher der elektrische Strom gehen müßte, um dem magnetischen Theilchen in Folge des allgemeinen Gesetzes (129) gerade die Bewegung zu ertheilen, in der es die vorliegende inductive Wirkung hervorbringt (Lenz in Pogg. Ann. 31. 483). Uebrigens ist es gleichviel, ob ein Magnet gegen einen geschlossenen Leiter, oder ein solcher Leiter gegen den Magnet bewegt wird, und ob der Magnetismus ein bleibender, oder ein erst durch die Action eines Magnetes temporär hervorgerufener ist; immer wird in dem Leiter ein elektrischer Strom erzeugt, es wäre denn der singuläre Fall vorhanden, daß die beiden Pole des Magnetes, die man hier als die Mittelpuncte einander entgegengesetzter Actionen betrachten darf, gleichen Antheil an der Strombildung nehmen, und daher die resultirende Action = 0 zu setzen ist. Der so entstandene magneto-elektrische Strom gibt seine Anwesenheit und Richtung am Galvanometer zu erkennen, wirkt auf das Froschpräparat, auf die Zunge, gibt Funken und kann durch zweckmäßige Vorrichtungen so gesteigert werden, daß er mit jenem einer kräftigen Volta'schen Kette eine Vergleichung aushält.

Um die Grundversuche der Erzeugung elektrischer Ströme durch bewegten Magnetismus zu machen, dient am besten ein hohler 1—2 Zoll langer und 1 Zoll weiter Cylinder von Holz, mit isolirtem Kupferdrahte bewickelt, in dessen Höhlung sich ein Magnetstab einschieben läßt. Verbindet man die Enden des Drahtgewindes mit einem Galvanometer und schiebt den Magnetstab bis zu seiner Mitte in den Cylinder, wobei jedoch das Galvanometer so weit entfernt stehen muß, daß der Magnetstab auf die Nadel desselben nicht merklich einwirkt, so zeigt die Magnetnadel einen elektrischen Strom an, der, wenn der eingeschobene Pol des Stabes der Nordpol war, im Drahtgewinde eine solche Richtung hat, daß er an dem nach der Richtung der Bewegung des Magnetes weisenden Ende eines in die Höhlung des Cylinders gelegten Stabes aus weichem Eisen einen Südpol hervorbringen würde. Dieser Strom ist von nur sehr kurzer Dauer; denn wenn der Magnetstab in der Höhlung des Drahtgewindes ruhig bleibt, kommt die Galvanometernadel nach den gewöhnlichen Schwingungen zur Ruhe. Zieht man jetzt den Magnetstab vorwärts oder rückwärts aus dem

Drahtgewinde heraus, so entsteht wieder ein momentaner Strom, aber mit dem vorhergehenden verglichen, nach entgegengesetzter Richtung. Nimmt man zu dem Gewinde einen etwa $1/2$ Lin. dicken und nicht sehr langen Draht, so daß er auf dem Cylinder nur einige Lagen bildet, und bringt man an dem einen Drahtende ein amalgamirtes Kupferscheibchen an, gegen dessen Fläche das andere zugespitzte Drahtende in einem Bogen federnd sich stemmt, so daß es bei einer mäßigen Erschütterung davon in mehreren Vibrationen abspringt und wieder hinzugeht, so zeigt sich bei der Einführung, wie auch bei dem Herausziehen des Magnetstabes zwischen dem Plättchen und der Spitze ein heller Funke. Enthält das Drahtgewinde feineren Draht in vielen über einander liegenden Windungen, so empfindet man, wenn man Metallcylinder, an welchen die Enden des Drahtes befestigt sind, mit nassen Händen hält, bei jeder der genannten Bewegungen des Magnetstabes eine Erschütterung, und mit Jodkaliumlösung befeuchtetes Papier zeigt Spuren der Zersetzung des Salzes. Dieselben Erscheinungen erhält man auch, wenn man in die Höhlung des Cylinders einen Stab aus weichem Eisen legt und diesen mit dem Pole eines starken Magnetes berührt, oder den Pol davon losreißt, oder wenn man den Draht auf den Anker eines Hufeisenmagnetes wickelt und wie vorhin verfährt, auf welche Art sich der Funke sehr leicht hervorbringen läßt.

161. Die Gesetze, nach welchen sich die Stärke des durch magneto-elektrische Induction entstehenden Stromes richtet, sind von Lenz untersucht worden. Sie sind denen ganz analog, welche im vorhergehenden Kapitel (136) für die Stärke des Magnetismus gegeben wurden, den ein elektrischer Strom dem weichen Eisen ertheilt. Es ist also die elektro-magnetische Kraft einer inducirten Spirale der Summe der elektromotorischen Kräfte der einzelnen Windungen gleich, mithin unter übrigens gleichen Umständen der Anzahl der Windungen nahe proportional, von der Weite der Windungen fast, und von der Dicke des Drahtes gänzlich unabhängig. Die weiteren Windungen sind gegen die engeren etwas im Nachtheil. (Pogg. Ann. 34. 385; 47. 266.)

Da die Einwirkung eines inducirten Stromes auf die Galvanometernadel eine momentane ist, so kann die Kraft des Stromes nur nach der Größe des ersten Ausschlages der Nadel beurtheilt werden. Es verhält sich diese Kraft, bei einerlei anfänglicher Stellung der Nadel gegen das Galvanometergewinde, und bei gleicher Wirkung der erdmagnetischen Kraft auf die Nadel, wie die Geschwindigkeit, welche die Nadel durch den von dem inducirten Strome ausgehenden Impuls empfängt. Weil die Nadel, einem Pendel ähnlich, aus ihrer größten Elongation durch die erdmagnetische Kraft gegen ihre Ruhelage zurückgeführt, mit eben dieser Geschwindigkeit in genannte Lage eintritt, welche Geschwindigkeit, wie sich leicht beweisen läßt, der Sehne des von dem Endpuncte der Nadel beschriebenen Bogens, mithin dem Sinus des halben Ausschlagwinkels proportionirt ist; so dient dieser Sinus als Maß der im Galvanometerdrahte im Augenblicke der Induction vorhandenen Stromkraft.

162. Um kräftige magneto-elektrische Ströme auf eine bequeme Weise zu erzeugen, bedient man sich einer besonderen Vorrichtung, der sogenannten magneto-elektrischen Rotationsmaschine, welche als eine Elektricitätsquelle eigener Art, der Elektrisirmaschine und Volta'schen Batterie an die Seite gestellt werden darf. Die

erste Maschine dieser Art wurde 1832 von Pixii construirt; sie hat nachher von Saxton, Clarke u. A. eine zweckmäßigere Einrichtung erhalten. Sie besteht im Wesentlichen aus einer kräftigen Magnetbatterie und aus einem in deren Nähe befindlichen Anker von sehr weichem Eisen, dessen Schenkel mit mehreren Lagen isolirten Kupferdrahtes umwunden sind. Eines dieser beiden Stücke, entweder der Magnet oder der Anker, hier Inductor genannt, wird mittelst einer Schnurmaschine in rotirende Bewegung versetzt, so daß die Pole des Magnetes und die Inductorschenkel fortwährend, und zwar abwechselnd in zwei entgegengesetzten Lagen einander gegenüber zu stehen kommen und sich wieder trennen. Von einer solchen Trennung der Pole und Inductorschenkel bis zur nächsten Opposition derselben wird in dem geschlossenen Drahtgewinde jedes Schenkels ein continuirlicher Strom von einerlei Richtung, jedoch von veränderlicher, nämlich bis zu einem Minimum abnehmender und hierauf wieder steigender Intensität inducirt; hierauf folgt bis zur ferneren Opposition ein entgegengesetzter Strom, und so wechseln hinter einander die Richtungen der Ströme. Man kann dieselben entweder, wie sie sich ergeben, also mit wechselnden Richtungen durch beliebige Leiter gehen lassen, oder dieselben mittelst eines Commutators auf einerlei Richtung zurückführen, oder auch nur einen der beiden Ströme benützen, indem man veranstaltet, daß in dem Augenblicke, in welchem der entgegengesetzte Strom eintreten sollte, die Schließung der Drahtgewinde unterbrochen wird. Die Mittel, durch welche der eine oder der andere dieser Zwecke erfüllt werden kann, sind mannigfaltig, und durch selbe unterscheiden sich vornehmlich die von verschiedenen Physikern angegebenen Einrichtungen solcher Apparate. Um einen gehörigen Effect zu erzielen, muß man auf den Leitungswiderstand Rücksicht nehmen, den der magneto-elektrische Strom in dem seiner Einwirkung unterworfenen Körper zu überwinden hat. Ist dieser Widerstand gering, so gibt man dem Inductor nur wenige Drahtlagen, und wählt einen dickeren Draht; auch vereiniget man jene Drahtenden beider Schenkel mit einander, in welchen der Strom einerlei Richtung hat. Die Wirkungen des Stromes eines solchen Inductors sind denen einer einfachen Volta'schen Kette mit größerer Oberfläche analog. Steht aber dem Strome ein bedeutender Widerstand entgegen, z. B. soll dieser Strom durch den menschlichen Körper geleitet werden, oder eine chemische Zerlegung bewirken, so gibt man dem Inductor viele Windungen dünnen Drahtes, und verbindet die Gewinde der Schenkel so, daß sie ein fortlaufendes Ganzes bilden. Man kann hiedurch die Wirkungen einer vielplattigen Volta-schen Säule nachahmen. Hieraus leuchtet die Nothwendigkeit ein, die magneto-elektrische Rotationsmaschine wenigstens mit zwei verschiedenen Inductoren auszustatten, deren einer mit dickerem, der andere mit dünnerem Drahte versehen ist.

Fig. 255 stellt eine magneto-elektrische Rotationsmaschine von der in Wien üblichen Einrichtung vor, bei welcher der Inductor der rotirende Theil ist. Er bewegt sich um eine verticale Axe, und seine aufwärts

gekehrten Schenkel gehen dabei unter den Schenkeln der auf einem Tischchen mit Stellschrauben horizontal liegenden Magnetbatterie in möglichster Nähe vorüber. Die Gestalt des Inductors mit dickem Drahte zeigt Fig. 256, die des andern mit dünnem Drahte bewickelten Fig. 257. Die Einrichtung des Apparates gestattet diese Inductoren leicht gegen einander umzutauschen. Die Inductorspindel a b ist von Eisen, sie trägt eine eiserne Platte c d, auf welcher in gleichen Abständen von der Mitte zwei massive Cylinder e, f von sehr weichem Eisen stehen, über welche die Drahtgewinde gewickelt sind, der dickere Draht unmittelbar auf das Eisen, der dünnere auf hölzerne Spulen; metallene Spulen sind nicht zu empfehlen, weil sie der Energie der Wirkung Eintrag thun. An der Spindel a b steckt zunächst unter der Platte c d ein hohler Eisencylinder g, der durch einen untergeschobenen Holzcylinder von der Spindel isolirend getrennt ist. Unter diesem befindet sich in der Spindel ein zweiter, der Hauptform nach cylindrischer Eisenkörper h Er ist mit der Spindel und daher auch mit der Platte c d in leitender Verbindung. An seinem untern Rande ist ein Ausschnitt angebracht, welcher die Hälfte des Umfanges hinwegnimmt; an seinem obern Rande befinden sich einander gegenüber zwei grubenartige Vertiefungen. Ein (einfaches oder doppeltes) Drahtende der Gewinde ist an die Platte c d, das andere an das Eisenstück g geklemmt. Zur Schließung der Kette und Leitung des Stromes stehen zu beiden Seiten der Inductorspindel messingene Säulen m, n, deren jede mehrere Löcher zur Aufnahme von Metallfedern, die an g und h greifen sollen, enthält. Stecken zwei g und h berührende Federn an derselben Säule, so sind die Enden der Drahtgewinde in leitender Verbindung; werden die Federn an beide Säulen vertheilt, so muß man die Säulen zur Schließung der Kette noch durch einen Leitungsdraht, in den die der Einwirkung des Stromes zu unterziehenden Körper eingeschaltet werden, in Verbindung setzen. Ist die an h greifende Feder in einerlei Höhe mit den grubenartigen Vertiefungen gestellt, so findet, so oft sie darüber weggleitet, eine momentane Unterbrechung der Kette Statt; entspricht die Stellung der Feder dem Ausschnitte an h, so ist die Kette während eines halben Inductorumlaufes unterbrochen. Hiedurch gelingt es, bloß Ströme von einerlei Richtung durch den Schließungsleiter gehen zu lassen, wie es bei der Darstellung der elektromagnetischen Phänomene, bei chemischen Zersetzungen u. dgl. nöthig ist. Die ersteren Erscheinungen, so wie auch Glühphänomene und Funken, bringt man mit dem Inductor mit dickem Drahte hervor; letztere, wie auch das Glühen der Kohle und physiologische Wirkungen erhält man mittelst des Inductors mit dünnem Drahte. Um heftige Erschütterungen selbst mit einer einzelnen schwachen Magnetlamelle hervorzubringen, wendet man drei Federn an, zwei stecken an einer Säule und treffen das Stück g, wie auch die Vertiefungen auf h; die dritte an der andern Säule befindliche Feder greift an den mittleren nicht unterbrochenen Theil von h. Zwei Conductoren, deren jeder mit einer der Säulen metallisch verbunden ist, werden mit den Händen gefaßt. Durch die zwei Federn an derselben Säule ist die Kette geschlossen, ausgenommen, wenn die Feder an h über die Vertiefungen geht; in diesem Augenblicke findet eine Unterbrechung Statt, und es entsteht ein inducirter Strom zweiter Ordnung, welcher mit namhafter Stärke durch den mittelst der andern zwei Federn mit der Drahtspirale in leitender Verbindung befindlichen Körper geht. (Pogg. Ann. 27. 390, 398; 39. 401. Bericht über die Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Prag. Prag, 1838.)

Statt eines permanenten Magnetes kann auch ein Elektromagnet

angewendet werden. In diesem Falle vertritt der durch den Wechsel der Stromrichtung bewirkte Polwechsel des Elektromagnetes die Rotation des Magnetes oder des Inductors. Der hiezu dienende Gyrotrop kann ein doppelter seyn, und die zweite Hälfte desselben dazu dienen, die entgegengesetzten secundären Ströme, die der Inductor liefert, auf einerlei Richtung zurückzuführen. Einen Apparat dieser Art hat zuerst Pohl angegeben. (Pogg. Ann. 34. 185 u. 500)

Endlich muß bemerkt werden, daß die Wirkungen des in (158 Anm.) beschriebenen Apparates bedeutend erhöht werden, wenn man in die Höhlung der Drahtspirale weiches Eisen, am besten ein Bündel dünner Eisenstäbe oder Drähte legt. Das Eisen nimmt hier bei jedem Schließen der galvanischen Kette Magnetismus an, und verliert ihn bei jedem Oeffnen der Kette wieder, und wirkt dadurch ebenfalls inducirend auf das äußere Drahtgewinde. Hiebei zeigt sich die auffallende Erscheinung, daß zwei ganz gleiche Drahtspiralen, die mit verschiedenem Eisenkern versehen auf das Galvanometer ganz gleich wirken, sich in Absicht auf Erschütterung nicht gleich verhalten. Dove (Pogg. Ann. 49. 72) schreibt dieß mit Recht der verschiedenen Geschwindigkeit zu, mit welcher hier gleiche Elektricitätsmengen in Bewegung treten.

163. Auch der Erdmagnetismus inducirt elektrische Ströme in bewegten Leitern. Verbindet man die Enden eines um einen großen Holzrahmen geführten Drahtes mit einem empfindlichen Galvanometer, und bewegt man den Rahmen, z. B. indem man ihn dem magnetischen Meridian parallel hält, und rasch um eine horizontale Seite wendet, so gibt der Ausschlag der Galvanometernadel das Auftreten eines elektrischen Stromes zu erkennen. Man kann diesen Ausschlag durch mehrere den Schwingungen der Nadel entsprechende entgegengesetzte Bewegungen des Rahmens bedeutend steigern. Stärkere Wirkungen erhält man, wenn man eine Spirale anwendet, die um einen Stab aus weichem Eisen gewickelt ist, und den Stab, der anfänglich die Richtung der magnetischen Neigung hatte, rasch umkehrt; da hilft der im Eisen durch terrestrischen Einfluß erregte Magnetismus mit.

Dreht man einen Kupferring um eine horizontale, im magnetischen Meridian liegende Axe, und stellt in dem Centrum des Ringes eine Boussole auf, so zeigt sich eine Ablenkung der Nadel in Folge des im Kupferringe circulirenden, durch den Erdmagnetismus inducirten elektrischen Stromes. Die ablenkende Stromkraft rührt in diesem Falle bloß von der verticalen erdmagnetischen Kraft her; die Größe der Ablenkung wird durch die horizontale Erdkraft bestimmt. Kennt man nun noch die Geschwindigkeit der Drehung, so läßt sich das Verhältniß der genannten zwei Componenten des Erdmagnetismus und daraus der Betrag der magnetischen Inclination berechnen. Hierauf gründet sich Weber's Inductions-Inclinatorium. (Resultate des magn. Vereins für 1837. S. 81. Auch Pogg. Ann. 43. 493.)

164. Die inducirende Kraft bewegter Magnete gibt zu sehr interessanten Erscheinungen Veranlassung. Man denke sich zwei beweglich aufgehängte Magnetstäbe oder Magnetnadeln so weit von einander entfernt, daß sie auf einander nicht einwirken können, und jede Nadel nach Art eines Galvanometers mit einem Drahtgewinde umgeben. Stehen diese Drahtgewinde mit einander in leitender Verbindung, und wird eine der Nadeln bewegt, so geräth auch die andere in Bewe-

gung. Es ist dieß eine Folge des durch magnetische Induction in dem Drahtgewinde entstandenen elektrischen Stromes. Zum Behufe der elektrischen Telegraphie läßt sich, wie schon Gauß gezeigt hat, an die Stelle des Volta'schen Apparates mit Vortheil ein magneto-elektrischer Inductionsapparat setzen. Steinheil hat die Hilfsmittel, welche die Praxis aus derlei wissenschaftlichen Principien schöpfen kann, durch Construction eines ungemein sinnreichen elektromagnetischen Telegraphen an den Tag gelegt. (Ueber Telegraphie, insbesondere durch galvanische Kräfte von Steinheil. München, 1838.)

Merkwürdig ist die Wirkung rasch auf einander folgender entgegengesetzten Ströme auf eine Magnetnadel. Verbindet man nämlich die beiden Enden des Drahtgewindes eines ohne Commutator oder Stromunterbrechung rotirenden Inductors einer magneto-elektrischen Maschine mit einem Multiplicator, so sollte man glauben, es könne keine Ablenkung der Magnetnadel eintreten, weil gleich starke, einander entgegengesetzte Ströme schnell auf einander folgen; allein die Erfahrung lehrt, daß die Nadel um 90° von ihrer natürlichen Richtung abgelenkt wird, und zwar immer nach der Seite, nach welcher sie schon vor der Einwirkung der elektr. Strömung einen kleinen Ausschlag hatte, ohne daß darauf die eigentliche Richtung der Rotation oder die Geschwindigkeit derselben einen Einfluß ausübte. Uebrigens schließt sich dieses Verhalten gut an die bekannten Gesetze des Elektromagnetismus an; denn ein elektrischer Strom magnetisirt eine Nadel immer so, daß sie dadurch eine Richtung anzunehmen sucht, wie jene ist, nach welcher sie derselbe Strom ablenkt; von zwei auf einander folgenden Strömen wird darum durch einen bereits vor dem Eintritte derselben vorhandenen Ausschlag die Wirkung desjenigen verstärkt, der dieselbe Ablenkung hervorzubringen sucht. (Poggendorff in dessen Ann. 45. 353.)

165. Versetzt man eine Magnetnadel, um welche ein multiplicirendes Drahtgewinde gelegt ist, in Schwingungen, so nehmen die Amplituden derselben viel rascher ab, wenn die Enden des Drahtgewindes mit einander gut leitend verbunden sind, als wenn dieß nicht Statt findet. In dem ersten Falle inducirt nämlich die Nadel bei jeder Bewegung in dem geschlossenen Leiter einen elektrischen Strom, der die Nadel nach der ihrer Bewegung entgegengesetzten Richtung abzulenken sucht. Dieß geschieht schon, wenn eine Magnetnadel über einer leitenden Platte oscillirt, was Arago im Jahre 1825 entdeckte, ohne die eigentliche Ursache des Phänomens zu ahnen. Er fand, daß sich der Schwingungsbogen einer horizontal schwingenden Magnetnadel über einer darunter befindlichen Kupferscheibe sehr schnell vermindert, und die Nadel viel eher zur Ruhe gebracht wird, als in Ermanglung einer solchen Unterlage. Aehnliches erfolgte, wenn die Nadel über einem anderen Metalle, ja in geringem Maße sogar, wenn sie über Glas, Wasser, Holz oscillirte. Gauß hat hievon eine nützliche Anwendung zur Dämpfung der Schwingungen des Magnetstabes am Magnetometer gemacht.

Man muß sich jedoch hüten, der inducirenden Action allein die Hemmung der Bewegung der Magnetnadel beizumessen. Die Verminderung des Schwingungsbogens einer unter dem Einflusse eines Metalles oscillirenden Magnetnadel rührt theils vom Luftwiderstande, theils von

jenem Einflusse her. Um beide Wirkungen von einander zu sondern, sey n die Anzahl der Schwingungen, welche die Nadel in Gegenwart des einwirkenden Körpers machen muß, damit ihr Schwingungsbogen um m Grade abnimmt, N dieselbe Größe, wenn die Nadel ohne Einwirkung jenes Körpers oscillirt, und die Abnahme des Schwingungsbogens bloß vom Widerstande des Mittels herrührt. Nimmt man an, daß die Verminderung des Schwingungsbogens mit der Anzahl der Schwingungen gleichförmig fortschreitet, so würde der Schwingungsbogen durch den alleinigen Einfluß des Mittels während n Schwingungen um $\frac{m\,n}{N}$ abgenommen haben, mithin ist der alleinigen Einwirkung des Metalles auf die Magnetnadel während n Schwingungen bloß die Verminderung des Schwingungsbogens um $m - \frac{m\,n}{N} = m\left(\frac{N-n}{N}\right)$ zuzuschreiben; in Folge dieser Einwirkung ohne Beihilfe des Mittels hätte also der Schwingungsbogen erst nach $\frac{N\,n}{N-n}$ Schwingungen (gefunden aus der Proportion $m\left(\frac{N-n}{N}\right) : m = n : 1$) um die Größe m abgenommen.

Dieser verzögernde Einfluß der durch die Bewegung eines Magnetes in umgebenden Leitern erregten elektrischen Ströme auf diese Bewegung selbst erklärt nun, warum die Erwartungen, zu welchen die große Tragkraft der Elektromagnete bezüglich der Anwendung des Elektromagnetismus zum Maschinenbetriebe Veranlassung gibt, in der Praxis sich nicht verwirklichen. (Vergl. 136 Anm.)

Christie hat zuerst bemerkt, daß directes Sonnenlicht die Schwingungsbögen einer oscillirenden Magnetnadel, so wie eine nahe Kupferscheibe vermindere, und dieses einem magnetischen Einflusse des Lichtes zugeschrieben. Allein diese Wirkung ist wenigstens nicht ganz magnetischer Natur, und wird höchst wahrscheinlich größtentheils bloß durch aufsteigende Luftströme bewirkt. (Zeitschr. 3. 96 u. 157; 6. 325.)

166. Daß durch Aenderung der Stellung eines Magnetes hinsichtlich einer Metallscheibe bewegende Kräfte geweckt werden, die früher nicht da waren, zeigt sich sogleich, wenn man eine Scheibe (am besten aus Kupfer) mittelst eines feinen Fadens sehr beweglich aufhängt, und unter derselben einen Hufeisenmagnet in verticaler Stellung in schnelle rotirende Bewegung setzt. Da kommt alsobald auch die Kupferscheibe nach derselben Richtung in Bewegung. Es kann auch umgekehrt ein beweglicher Körper einen Magnet in Bewegung setzen; dieses ist der Fall an einer Magnetnadel, die sich frei schwebend über einer schnell rotirenden Kupferscheibe befindet. Bei einer mäßigen Geschwindigkeit der rotirenden Scheibe wird der Magnet nach der Richtung der Rotation abgelenkt, und verharrt unter einem gewissen Ablenkungswinkel, so lange die Geschwindigkeit der Scheibe unverändert bleibt; diese Ablenkung wird aber desto größer, je schneller man die Scheibe dreht, und endlich fängt der Magnet selbst zu rotiren an. Man kann sogar die Einwirkung der Scheibe auf den Magnet durch die Größe des Ablenkungswinkels messen.

Die Geschwindigkeit der Rotation ist nicht das einzige Element, wovon die Größe der Einwirkung eines bewegten Körpers auf einen Magnet

abhängt. Ein starker Magnet wird durch dieselbe Scheibe stärker abgelenkt, als ein schwacher; aber zur Erzeugung einer großen Einwirkung ist ein gewisses Verhältniß in der Größe des Magnetes und der Kupferscheibe nothwendig. Ein sehr kleiner Magnet wird durch eine sehr große Scheibe so wenig merklich afficirt, als ein großer Magnet durch eine sehr kleine Scheibe. Je weiter der Magnet von der Scheibe entfernt ist, desto geringer ist ihre Einwirkung, sie nimmt aber in einem größeren Verhältnisse ab, als die Entfernung des Magnetes von der Scheibe wächst. Körper, die zwischen den Magnet und die Kupferscheibe gebracht werden, schwächen die Wirkung, wenn sie selbst eine solche beim Rotiren hervorzubringen vermögen. Eine Eisenplatte hebt diese Wirkung ganz, eine Kupferplatte zum Theil auf, Glas, Holz, Papier ꝛc. lassen sie ungeschwächt durch. Vorzüglich schwächend wirkt die Unterbrechung der Continuität der Metallmasse. Eine sternförmig ausgeschnittene Kupferscheibe wirkt ohne Vergleich weniger, als eine massive; die Wirkung einer Scheibe kann man durch einen Schnitt sehr verringern, doch kehrt ihre vorige Kraft wieder zurück, wenn man beide Stücke zusammenlöthet. Ein spiralförmig gewundener Stab wirkt schwächer, als eine Scheibe von demselben Durchmesser und von derselben Masse. Kupfer in Pulverform wirkt ohne Vergleich schwächer, als in einer zusammenhängenden Masse. Eine hart gehämmerte Platte wirkt stärker als eine ausgeglühte, doch soll eine Temperaturänderung der Platte ihre Wirkung nicht merklich ändern. Dieselben Gesetze zeigen sich in Betreff des Einflusses einer Kupferplatte auf eine oscillirende Magnetnadel. Eine Magnetnadel, deren halber Schwingungsbogen ohne Einfluß eines nahen Körpers nach 108 Schwingungen von 18° auf 9° abnahm, verzögerte sich in der Nähe einer 2 Lin. dicken Kupferscheibe nach 7, in der Nähe einer 0,8 L. dicken nach 11 Schwingungen um eben so viel. Eine Platte, die den Ausschlagswinkel eines Magnetes nach 8 Schwingungen um 10° verminderte, bewirkte dasselbe erst nach 10 Schw., wenn sie entzweigeschnitten war und die beiden Hälften hart an einander lagen. Ein Magnet, dessen Schwingungsbogen über einer Kupferplatte nach 160 Schw. von 20° auf 10° herabsank, brauchte dazu nur 64 Schw., wenn mittelst eines elastischen Fadens seine Oscillationen beschleuniget wurden. — Arago empfiehlt, die Stärke eines Magnetes nach dem Gewichte zu schätzen, das man ihm anhängen muß, um ihn durch eine Scheibe, die mit einer gewissen Geschwindigkeit rotirt, um einen gewissen Winkel abzulenken.

167. Es ist klar, daß die Ablenkung eines Magnetes durch eine rotirende Kupferscheibe von einer Kraft herrühren müsse, die nach der Tangente der Scheibe wirkt. Diese ist aber nicht die einzige, welche von einer solchen Scheibe ausgeht; sondern es gibt deren noch zwei andere, wovon eine auf der Ebene der Scheibe senkrecht steht, die andere mit derselben parallel ist. Die erstere wirkt auf jeden Pol eines Magnetes abstoßend, und zeigt sich, wenn man einen Magnetstab vertical an eine Wage hängt, ihn daselbst ins Gleichgewicht setzt, und unter ihm eine Kupferscheibe rotiren läßt; denn da wird alsogleich das Gleichgewicht gestört, und die Seite, wo der Magnet aufgehangt ist, erscheint leichter. Die mit der Ebene der Scheibe parallele Kraft wirkt in der Nähe des äußeren Umfanges der Scheibe und etwas innerhalb desselben vom Centrum gegen die Peripherie, hingegen über einen gewissen Kreis hinaus, wo sie gleich Null ist, von der Peripherie zum Centrum. Davon überzeugt man sich mittelst einer In-

clinationsnadel. Stellt man diese so über die Scheibe, daß sie eine verticale Richtung annimmt, setzt dann die Scheibe in Bewegung; so wird sie in der Nähe des Umfanges der Scheibe gleichsam vom Centrum abgestoßen. Weiter einwärts bleibt die Nadel vertical, und noch weiter einwärts wird sie endlich vom Centrum gleichsam angezogen. Das Verhältniß dieser drei Kräfte zu einander ändert sich mit der Geschwindigkeit der rotirenden Scheibe.

168. So sehr man auch auf den ersten Blick erkennt, daß diese Erscheinungen durch inducirende Wirkung der Magnete zu erklären seyen, so darf man sich doch der Verpflichtung nicht entschlagen, das wirkliche Daseyn inducirter Ströme nach der den Phänomenen angemessenen Richtung nachzuweisen. Zu diesem Ende stelle man eine Kupferscheibe M (Fig. 258), welche um die Axe a beweglich ist, so zwischen die zwei Pole n und s eines Hufeisenmagnetes, daß der Rand noch unter den Polebenen steht, und sowohl dieser Rand (welcher zu diesem Ende amalgamirt ist), als auch die Axe mit einem Multiplicator verbunden, hierauf aber die Scheibe schnell gedreht wird. Da zeigt die Nadel des Multiplicators eine bleibende Ablenkung. Dasselbe tritt in gleicher Ordnung und Stärke ein, wenn man die Scheibe so weit hebt, daß ihr Rand in die Ebene der Pole fällt, oder gar über dieselbe hervorragt. Aendert man die Richtung der Rotation, so weicht auch die Nadel nach entgegengesetzter Richtung aus. Dasselbe erfolgt, wenn man die Pole des Magnetes verwechselt, aber die Richtung der Rotation beibehalten wird. Auch wenn man nicht die genau zwischen den Polen befindliche Stelle des Randes, sondern eine 50—60° davon abstehende mit dem Multiplicator in Verbindung setzt, erfolgt eine Ablenkung; sie wird aber immer schwächer, je weiter der Verbindungsdraht von der Polebene abweicht. Wenn man die Scheibe nur einem Magnetpole gegenüber stellt, treten dieselben Wirkungen ein, nur in einem etwas geringeren Grade, und man kann aus der Richtung der Ablenkung der Nadel den Schluß ziehen, daß, wenn sich die Scheibe horizontal und schraubenrecht dreht, und der Nordpol eines Magnetes über derselben steht, der erregte elektr. Strom vom Centrum der Scheibe beim Magnetpole vorbei, zum Umkreise derselben geht, und in dem entfernt vom Pole liegenden Theile der Platte zurückkehrt. Fig. 259 stellt solche Ströme mittelst der punctirten Linien dar.

Bei einer horizontalen, rechts gedrehten Kupferscheibe b a c (Fig. 260), über welcher sich eine horizontal schwebende Magnetnadel befindet, hat man es mit der gleichzeitigen Wirkung zweier Magnetpole n und s zu thun. Ersterer erzeugt in der ihm entsprechenden Scheibenhälfte einen Strom, der vom Centrum a zum Umkreise b, letzterer einen solchen, der vom Umkreise c nach a geht; mithin entsteht durch die vereinte Wirkung beider Pole ein Strom, der von c nach b gerichtet ist. Fig. 261 stellt diese Ströme vor. Von diesen hängt nun die tangentielle Ablenkung einer Magnetnadel durch eine rotirende Kupferscheibe ab. Daß alle Wirkung aufhört, wenn keine Rotation mehr Statt findet, ist klar, denn nun gibt es keinen secundären elektr. Strom mehr, auch der große Einfluß der Continuität der Masse auf derlei Phänomene ist leicht be-

greiflich. Die in einer rotirenden Kupferscheibe erregten Ströme haben ihre Wirkungsmittelpuncte n und s zu beiden Seiten des wirksamen Magnetpoles. Da die elektr. Vertheilung nothwendig da, wo sie zu Ende geht, stärker seyn muß, als da, wo sie gerade anfängt, weil jene mit der ganzen Summe der Kräfte wirkt, welche die Platte durch den Magnetpol erhalten hat; so hat die Resultante aller Ströme eine schiefe Richtung gegen den Magnetpol, und der vertical aufwärts wirkende Theil dieser Kraft muß den Magnetpol abstoßen. Die Lage der Wirkungsmittelpuncte n und s richtet sich natürlich nach der Lage der Projection des Magnetpoles auf der rotirenden Platte. Rückt dieser Pol gegen das Centrum der Platte, so bewegen sich auch n und s dahin, und es wird nach Maßgabe dieser Annäherung des Poles n an das Centrum der Platte die Vertheilung mehr oder weniger über dieses Centrum hinausrücken, und die Kraft der secundären Ströme wird den Magnetpol, wenn derselbe nahe am Centrum liegt, zu demselben hinziehen, liegt er aber nahe am Umfange, von demselben abstoßen. Was von einer Kupferscheibe gesagt wurde, gilt auch von Scheiben aus anderen Metallen und guten Elektricitätsleitern, allein die Einwirkung schlechter Leiter, z. B. des Glases, Holzes und selbst der Gase, ist noch nicht mit voller Klarheit aus den bekannten Gesetzen der magneto-elektrischen Vertheilung erklärbar. (Faraday in Pogg. Ann. 25. 120; Nobili in Zeitschr. n. F. 1. 93; Pogg. Ann. 26. 401.)

169. Die merkwürdigste unter den Erscheinungen dieser Art ist unstreitig die gleichfalls von Faraday entdeckte Erzeugung elektrischer Ströme durch Einwirkung eines um seine Axe sich drehenden Magnetes auf sich selbst. Bringt man nämlich ein Ende eines um seine Axe rotirenden Magnetstabes und eine Stelle zwischen seinen Polen mit den Galvanometerdrahten in Verbindung, so gibt sich ein elektrischer Strom zu erkennen, der, wenn das Nordende des Stabes oben gedacht wird, und der Stab sich schraubenrecht dreht, von dem untersuchten Ende (sey es das nördliche oder südliche) angefangen, durch den Galvanometerdraht zur genannten Stelle am Magnet zwischen den Polen, und von da im Magnete zu jenem Ende zurückgeht.

Weber betrachtet diese Art der Stromerregung als einen besonderen Fall der Induction, welchen Fall er unipolare Induction nennt. Um sich davon einen Begriff zu machen, denke man sich einen Magnetstab gegen einen geschlossenen metallischen Ring so bewegt, daß jeder Pol des Magnetes eine in sich zurückkehrende Bahn beschreibt, und dabei die Bahn eines Poles die Ringebene durchschneidet, während die Bahn des andern Poles ganz außerhalb des Ringes bleibt; eine Bewegungsart, die nur möglich ist, wenn man zugleich zuläßt, daß der Magnetstab den Umfang des Ringes durchbrechen kann, ohne der metallischen Schließung des Ringes selbst Eintrag zu thun. Hier wird der durch die Ringebene gehende Pol während des ganzen Verlaufes seiner Bewegung in dem Ringe einen elektrischen Strom von einerlei Richtung induciren, der andere Pol aber zwei auf einander folgende Ströme von entgegengesetzten Richtungen, deren Gesammteffect verschwindet; die Sache wird sich also gerade so verhalten, als wäre nur der magnetische Pol, welcher durch die Ringebene gegangen ist, vorhanden gewesen. Einen solchen Ring bildet nun nach Weber der Galvanometerdraht mit jeder Linie, die man zwischen den zwei Berührungspuncten dieses Drahtes mit dem Magnet im Inneren des letzteren denken mag, und es gibt immer ma-

gnetische Elemente (die ihrem Wesen nach als sehr kleine Magnete zu betrachten sind), welche der einen Hälfte nach durch den so gedachten Ring gehen, und daher in demselben einen Strom von constanter Richtung induciren. Weber hält diese Erscheinung nach Ampère's Hypothese für unerklärlich, mithin für einen Beweis der Existenz räumlich geschiedener magnetischer Flüssigkeiten, wofür er noch andere beachtenswerthe Gründe beibringt; doch scheint es, daß die in Ampère's Hypothese die magnetischen Elemente vertretenden Solenoide auch in diesem Falle ganz eben so wirkend gedacht werden können, wie die magnetischen Elemente mit getrennten Polen. (Resultate d. magnet. Vereines für 1839. S 63; Pogg, Ann. 52. 353.)

Die in diesem Kapitel vorgetragenen Lehren geben deutlich zu erkennen, daß die magneto-elektrische Induction das Gegenstück der elektro-magnetischen Action ist; Elektricität in Bewegung ruft als laterale Wirkung Magnetismus hervor: Magnetismus in Bewegung, wenn auch nur in relativer, hat als laterale Wirkung Elektricität zur Folge. Doch mangelt es bis jetzt an einer auf klare Begriffe sich gründenden Zusammenfassung beider Wirkungsweisen unter einerlei Gesichtspunct. Wie allverbreitet die Thätigkeit elektrischer Ströme in der Natur seyn muß, läßt sich aus dem Umstande entnehmen, daß den so eben erklärten Gesetzen zu Folge kein Leiter der Elektricität sich bewegen kann, ohne daß die Elektricität in ihm durch den Erdmagnetismus in Strömung versetzt wird, so wie die Erde selbst in dem Umschwunge um ihre Axe eine continuirliche Veranlassung zur Erweckung elektrischer Ströme an sich trägt.

Fünftes Kapitel.

Thermoelektricität.

170. Die Wärme ist gleichfalls eine der Ursachen, welche das Entstehen eines elektrischen Zustandes bewirken. An isolirten wie auch an schlechten Leitern bringt eine örtliche Temperaturänderung elektrische Spannung hervor; an Leitern, welche der Elektricität eine Ausgleichung gestatten, entsteht unter diesen Umständen ein elektrischer Strom.

171. Folgende Thatsachen beweisen das Eintreten elektrischer Spannung durch Temperaturänderung: Bringt man am Deckel eines guten Condensators einen Platindraht an, dessen über den Deckel hervorragendes Stück spiralförmig zusammengewunden ist, und erhitzt man dasselbe zum Rothglühen; so findet man, wenn man die Basis des Condensators mit der Hand, und die Spirale mit einem feuchten Papiere oder mit einem durch Hitze leitend gemachten Glasstabe berührt, den Condensatordeckel negativ, den Papierstreifen oder den Glasstab positiv-elektrisch (Zeitschr. 10. 200). An schlechten Leitern treten durch Erwärmung beide Elektricitäten deutlich hervor. Dieses zeigt sich besonders auffallend am krystallisirten Turmalin. Wird nämlich ein solcher, besonders wenn er im Inneren rein und nicht zerklüftet ist, und zu der hell gefärbten durchsichtigen Varietät gehört, bis 30° C. gleichmäßig erwärmt, so erscheint er an einer Hälfte positiv, an der andern

negativ, und wird dieses immer mehr, je höher seine Temperatur steigt, doch darf sie nicht stationär werden. Sobald sie nicht mehr steigt, verschwindet auch die Elektricität; sobald sie abzunehmen beginnt, erscheint der Krystall wohl wieder elektrisch, doch hat, wenn die Erkaltung seine ganze Masse trifft, der Theil, welcher vorhin +E zeigte, nun —E. Der Uebergang von einem elektrischen Zustande in den entgegengesetzten erfolgt sehr schnell. Die Stärke seiner Elektricität ist der Erwärmungs- oder Erkaltungsgeschwindigkeit nicht proportionirt. Ist nur ein Theil eines Turmalins im Erwärmen und Erkalten begriffen, so verhält sich der ganze Krystall so, als bestünde dieser aus zwei Theilen, deren jeder für sich einen eigenen, selbstständigen, elektrischen Zustand annimmt, und der des einen Theiles ist jenem des anderen entgegengesetzt. Doch zeigt ein solcher Krystall unter gewissen Umständen nur eine Elektricität, ohne daß man wahrnehmen kann, was aus der anderen geworden ist. Zerschneidet man einen Turmalin, während er elektrisch ist, so erscheint jedes Stück desselben mit einer positiven und einer negativen Hälfte, und zwar haben die Flächen, welche mit einander verbunden waren, entgegengesetzte Elektricität. Man kann einen Turmalin selbst zu Pulver zerstoßen, und doch wird jedes Theilchen Zeichen des zweifachen elektrischen Zustandes von sich geben. Es sind aber nicht alle Turmaline der elektrischen Erregung durch Wärme in gleichem Grade fähig, in der Regel werden die kleinsten am leichtesten elektrisch. Turmaline, welche einer starken Elektrisirung fähig sind, werden durch schnelle und durch langsame Erwärmung gleich elektrisch. Aehnliche Erscheinungen bemerkt man auch an anderen, selbst an künstlich erzeugten Krystallen, immer aber nur an hemiedrischen, d. i. an solchen, deren Krystallflächen an den zwei einander gegenüberstehenden Enden nicht symmetrisch angeordnet sind. Es sind aber nicht immer zwei elektrische Pole wie beim Turmalin, sondern oft mehrere vorhanden. So z. B. hat ein Boracit acht elektrische Pole, wenn er auch nur eine Linie im Durchmesser hat. Einen Topaskrystall fand Haüy an beiden Enden negativ, in der Mitte positiv-elektrisch; nach Erman (Pogg. Ann. 25. 615) hingegen hat ein brasilianischer erwärmter Topas in der Axe und parallel mit derselben —E, senkrecht darauf +E. Auch ist die zur Elektricitätserregung nöthige Temperaturgrenze nicht bei allen gleich. Der Turmalin braucht eine Wärme von 30° C. Galmei ist schon bei der gewöhnlichen Luftwärme elektrisch. (Zeitschr. 4. 356. Schweigg. J. 43. 87. Pogg. Ann. 13. 623. G. Rose ebend. 39. 285.)

Krystalle, an denen man durch Temperaturänderung Elektricität erregen kann, sind: Turmalin, Topas, Axinit, Boracit, Mesotyp, Prehnit, Zinkoxyd, Sphen, Scolecit, Mesolit, Kalkspath, gelber Beryll, Schwerspath, schwefelsaurer Strontian, kohlensaures Blei, Diopsid, rother und blauer Flußspath, Diamant, Auripigment, Analcim, Amethyst, Quarz aus der Dauphiné, Idokras, Honigstein, natürlicher Schwefel, Granat, Dichroit, weinsteinsaures Kali und Natron, Weinsteinsäure, kleesaures Ammoniak, chlorsaures Kali, Bittersalz, schwefelsaures Ammoniak, Eisenvitriol, blausaures Kali, Zucker, essigsaures Blei, kohlensaures Kali, Citronensäure, Quecksilbersublimat.

172. Wenn man zwei Metallstücke derselben Natur mit den Enddrähten eines Multiplicators verbindet, dann eines der Metalle erhitzt und hierauf beide in gegenseitige Berührung bringt; so zeigt die Magnetnadel alsogleich einen elektrischen Strom an, den man mit Recht einen thermo-elektrischen nennen kann, weil er einzig und allein durch Temperaturdifferenz hervorgerufen wird. Die Stärke dieses Stromes richtet sich nach der Natur der Metalle und ihrer Temperaturdifferenz, in Bezug auf dessen Richtung zerfallen aber die Metalle nach Emmet's und Nobili's Versuchen in zwei Classen, nämlich in solche, wo der positive Strom mit dem Gange der Wärme einerlei Richtung hat, und in andere, wo Wärme und Elektricität einander entgegengehen. In die erste Classe gehören: Platin, Gold, Silber, Kupfer, Nickel; in die zweite: Zinn, Blei, Zink, Eisen, Quecksilber, Arsenik, Antimon, Wismuth. Eine etwaige Oxydirung eines Metalles beim Erwärmen bringt eine Störung in diesem Gesetze hervor (Emmet in Silliman's Journal 25. 271 und 26. 311; in Dove's Repertorium 1. 344). Es ist nicht einmal nothwendig, die ungleich warmen Metallstücke mit einander in unmittelbare Berührung zu bringen; denn Andrew's (Pogg. Ann. 41. 164) hat derlei elektrische Ströme auch erhalten, als er die Metalle von ungleicher Temperatur in einen Tropfen eines geschmolzenen und dadurch leitend gewordenen Salzes (Borax, kohlensaure und schwefelsaure Soda, kohlensaures Kali, Chlorkalium, Jodkalium, Chlorstrontium, borsaure Soda 2c.) steckte. Anstatt die Metallstücke erst nach dem Erwärmen in Berührung zu bringen, kann man sie auch erst, wenn sie schon einander berühren, erwärmen; ja man kann sogar mit Erfolg an einem großen Metallstücke eine örtliche Erwärmung hervorbringen, und auch in diesem Falle sich vom Daseyn eines elektrischen Stromes überzeugen. Wird ein Kupferdraht zu einem Vierecke zusammengebogen, wie Fig. 262 zeigt, und das hervorstehende Ende b erwärmt, so tritt ein elektrischer Strom in der Richtung der beigesetzten Pfeile ein, und ist schon ohne Multiplicator bemerklich. Windet man die mit einander verschlungenen Enden eines Multiplicators schraubenförmig zusammen und erhitzt sie dann, so weicht alsogleich die Magnetnadel aus, zum Beweise, daß ein elektrischer Strom eingetreten sey. Verbindet man mit jedem Ende eines Multiplicatordrahtes einen getrockneten Thoncylinder, erhitzt einen derselben am äußersten Ende und berührt ihn dann mit dem zweiten; so zeigt sich alsogleich ein vom warmen zum kalten Cylinder gehender Strom. Versuche über Thermo-Elektricität in einem einzigen Metalle gelingen besonders gut mit krystallinischen Metallen, z. B. mit Wismuth, Antimon 2c. An einem Wismuth- oder Antimonringe, der mit einer Flamme an einer Stelle erwärmt worden, fand Seebeck zwei Puncte, deren Erwärmung die stärkste, und zwei andere, deren Erwärmung gar keine Elektricität gibt; man muß sie aber an jedem Ringe eigens aufsuchen. Erhitzt man einen Cylinder oder ein Prisma von Wismuth an einer Stelle und stellt sie dann im magnetischen Meridian unter eine empfindliche Magnetnadel, und dreht dabei den Stab

um seine Axe; so findet man immer mehrere Stellen, von welchen die Nadel afficirt wird. Diese liegen meistens mit der Axe des Stabes parallel, und je zwei derselben haben eine Stelle zwischen sich, welche gar nicht auf die Nadel wirkt. Yelin hat durch hölzerne Stäbe, in denen nach bestimmten Richtungen längs der Axe leitende Drähte gezogen waren, durch welche ein schwacher elektrischer Strom geleitet werden konnte, dieselben Wirkungen erhalten, wie an einem erhitzten Wismuthstabe. (Seebeck in Pogg. Ann. 6. 133, 253. Yelin in Gilb. Ann. 73. 415. Schweigg. J. 37. 21... Nobili in Zeitschr. 4. 350; 10,200, 221; Sturgeon in Zeitschr. 10. 221.)

173. Sind die mit den Multiplicatorenden verbundenen, ungleich warmen Metallstücke von ungleicher Natur, so entsteht bei ihrer Berührung um so eher ein elektrischer Strom. Die Richtung dieses hängt aber nun von der Natur der Metalle und dem Gangunterschiede der Wärme in denselben ab. Es ist klar, daß auch diese Metalle erst, nachdem sie schon mit einander verbunden, bloß zusammengedrückt oder gar zusammengelöthet sind, an der Verbindungsstelle erwärmt werden können. Da ist die Richtung des Stromes bloß von der Natur der Metalle abhängig, weil durch diese auch schon der Gang der Wärme bestimmt wird. Wird die Verbindungsstelle statt erwärmt zu werden erkaltet, so tritt auch der elektrische Strom in entgegengesetzter Richtung auf. So geht, z. B. wenn man ein Stäbchen aus Wismuth mit einem aus Antimon (Spießglanz) an einem Ende zusammenlöthet, so daß sich die Metalle nur an diesem Ende berühren, und die freien Enden mit einem Fechner'schen Galvanometer, oder mit einem andern, dessen Gewinde eine geringere Länge dicken Drathes enthält, in Verbindung bringt, so gibt sich bei der Erwärmung der Löthstelle nur mit der Hand ein elektrischer Strom zu erkennen, der vom Wismuth durch die Löthstelle zum Spießglanz geht. Wird die Verbindungsstelle erkältet, oder was dasselbe thut, werden die freien Enden erhitzt, so geht der Strom vom Spießglanz zum Wismuth. Man kann die Metalle in eine Reihe (thermo-elektrische Reihe) zusammenstellen, in welcher sie so auf einander folgen, daß im Falle der Erhitzung der Verbindungsstelle der positive Strom der Elektricität immer vom nachfolgenden zum vorhergehenden geht, und bei derselben Temperaturdifferenz desto stärker ist, je weiter die Metalle in dieser Reihe von einander abstehen. Bei mancher thermo-elektrischen Kette ist die Stromstärke innerhalb gewisser ziemlich weit von einander abstehenden Grenzen der Temperaturdifferenz proportional, in anderen kann man auf diese Proportionalität nur innerhalb sehr enger Grenzen oder auch gar nicht rechnen. So z. B. findet bei einer Wismuthkupferkette diese Proportionalität zwischen — 17° C. und + 17° C. Statt, bei einer Eisenplatinkette scheint sie aber gar nicht vorhanden zu seyn. (Pouillet in Pogg. Ann. 39. 567 und 41. 144.) Die Erfahrung hat gelehrt, daß, wenn man die thermo-elektrische Kraft des ersten Metalls der genannten Reihe mit allen folgenden bestimmt hat, die Kraft jeder be-

liebigen Combination aus dieser Reihe dem Unterschiede der Kräfte in Bezug auf das erste gleich sey.

So z. B. fand man für eine bestimmte Temperaturdifferenz die Kraft einer Kette aus Eisen und Silber = 26,20, aus Eisen und Kupfer = 27,96, aus Eisen und Zinn = 31,24, und aus Eisen und Platin = 36,07, und daher ist die Kraft einer Kette aus Kupfer und Silber = 27,96 — 26,20 = 1,76, aus Platin und Silber = 36,07 — 26,20 = 9,87 rc. Besagte Reihe ist nach Seebeck folgende: Wismuth, Nickel, Kobalt, Palladium, Platin, Uran, Kupfer, Mangan, Titan, Messing Nr. 1, Gold Nr. 1, Kupfer, Messing Nr. 2, Platin Nr. 2, Quecksilber, Blei, Zinn, Platin Nr. 1, Chrom, Molybdän, Kupfer, Rhodium, Iridium, Gold Nr. 2, Silber, Zink, Kupfer Nr. 3, Wolfram, Platin Nr. 4, Cadmium, Stahl, Eisen, Arsenik, Antimon, Tellur. (Seebeck in Pogg. Ann. 6. 17; Becquerel in Zeitschr. 1. 430.)

174. Man kann die bisher besprochenen thermo-elektrischen Ketten als einfache betrachten, und mehrere derselben zu einer zusammengesetzten Säule oder thermo-elektrischen Batterie verbinden, indem man die einzelnen Elemente nach der Reihe mit den freien Enden zusammenlöthet, und nur vom ersten und letzten ein Ende frei läßt. Nach Maßgabe des Gebrauches, für welchen derlei Thermosäulen bestimmt sind, werden sie auch in Hinsicht auf die Dimensionen, materielle Beschaffenheit, und Anordnung der dazu verwendeten Metallstäbe verschieden construirt, jedoch immer so, daß man die 1ste, 3te, 5te rc., oder die 2te, 4te, 6te rc. Löthstelle zugleich erwärmen oder erkalten kann.

Das gewöhnliche Material zu thermo-elektrischen Säulen ist Wismuth und Spießglanz; man verwendet dazu prismatische Stücke aus genannten Metallen, angefangen von einigen Linien Breite und Dicke und 1½ — 2 Zoll Länge, bis zu einer solchen Dünne, als es die Bearbeitung der fragilen Metalle gestattet, und ¾ — 1 Zoll Länge. Dickere Stücke ordnet man gewöhnlich zu parallelepipedischen Säulen zusammen, und wendet zur Isolirung der Metalle, die nur an den Verbindungsstellen sich berühren dürfen, Gips an; dünnere Stängelchen kann man jedoch auch kamm- oder sternartig an einander fügen (Kammsäulen und Strahlensäulen). Will man die homologen Enden einer Säule höheren Temperaturen aussetzen, so muß man andere Metalle wählen; in diesem Falle gebraucht man Packfong und Eisen, oder Platin und Eisen (Nobili in Pogg. Ann. 36. 525; Dove ebend. 44. 592). Eine Säule aus zarten Wismuth- und Spießglanzstängelchen ist für strahlende Wärme äußerst empfindlich. Man konn damit eine Temperaturdifferenz von $\frac{1}{6000}$ Grad R. bemerklich machen (Zeitschr. n. F. 1. 187.)

175. Der thermo-elektrische Strom gibt sich nicht bloß durch seine Wirkung auf eine Magnetnadel zu erkennen, sondern er kann auch alle übrigen Wirkungen hervorbringen, die man von anderen elektrischen Strömen kennt. Man hat bereits durch solche Ströme Froschschenkel in Zuckungen versetzt, Wasser und Salze zerlegt, Funken und selbst Temperaturerhöhungen hervorgebracht. Es unterscheidet sich dem-

nach ein solcher Strom in nichts von einem anderen. Daß er nicht fähig ist, einigermaßen dicke Flüssigkeitsschichten oder lange Leitungsdrähte zu durchströmen, ohne eine an Vernichtung grenzende Schwächung zu erleiden, rührt davon her, daß ein solcher Strom in einer ganz aus Metallen bestehenden, meistens sehr kurzen Kette seinen Ursprung hat, wo er nur einen sehr geringen Leitungswiderstand erfährt, und daher jede Zugabe in der Länge des Schließungsdrahtes oder in der Dicke der flüssigen Schichte einen relativ großen Widerstand erzeugt.

Nobili hat zuerst mittelst eines thermo-elektr. Stromes Zuckungen an Froschschenkeln hervorgebracht, Botto in Turin gelang es mittelst einer Platineisensäule von 120 Elementen von 1 Z. Länge und 1/4 Z. Dicke, gesäuertes Wasser zu zersetzen; Becquerel zerlegte gar mit einem einzigen Elemente aus Platin und Kupfer Metallsalze, wenn er den Pol des Elementes mit jenem Metall bekleidete, dessen Oxyd dem Salze zur Basis diente; Antinori brachte mit einer Säule aus 25 Antimon-Wismuthelementen einen glänzenden Funken hervor, wenn er die Kette durch einen spiralförmigen, langen, um einen weichen Eisenstab gewundenen Drath schloß; Watkins endlich erzielte dasselbe mit einer einfachen Antimon-Wismuthkette, die er durch einen zusammengerollten Kupferstreifen, dessen Windungen durch einen isolirenden Stoff getrennt waren, schloß. Derselbe hat auch mit einer massiven Thermosäule von 218 Wismuth-Antimonelementen von 4 Zoll Länge an einem Luftthermometer bemerkliche Temperaturerhöhung erzeugt. (Nobili in Pogg. Ann. 14. 161; Botto ebend. 28. 238; Wheatstone ebend. 41. 160; Watkins in *Phil. Mag.* 11. 399 und 304, 14. 32.)

Um derlei Versuche auf eine sichere Weise zu machen, dient am besten eine Wismuth-Spießglanzsäule von 16—25 massiven Elementen, deren unteres, die eine Reihe der Löthstellen enthaltendes Ende man in siedendes Wasser taucht, während man das obere durch Eis oder auch nur durch einen Strom kalten Wassers abkühlt, den man aus einer Mariotte'schen Flasche darauf gehen und durch ein Abzugsrohr oder einen Heber ablaufen läßt. Eine solche Säule bringt Elektromagnete zu Stande, setzt das Barlow'sche Rädchen und ähnliche Apparate in Bewegung, erzeugt inducirte Ströme, deren Intensität, wenn man eine Drahtrolle mit Eisenkern anwendet, sich bis zu bedeutenden Funken und merklichen Stößen steigern läßt.

176. Die Kenntniß der thermo-elektrischen Ströme ist in theoretischer und praktischer Hinsicht gleich wichtig. Man kann, auf diese Kenntniß gestützt, überall, wo in guten geschlossenen Leitern Temperaturunterschiede Statt finden, mit Grund das Daseyn elektrischer Ströme annehmen. Namentlich gilt dieses vom Inneren der Erde, deren Ströme vielleicht zur Kraft des Erdmagnetismus beitragen, und durch die stets wandelbare und immer nur auf einen Theil der Erde wirkende Kraft der Sonne hervorgebracht werden müssen. In einigen Erzgängen hat man das Daseyn solcher Ströme wirklich schon nachgewiesen (Zeitschr. 10. 118). In practischer Beziehung gibt uns die Thermo-Elektricität ein treffliches Mittel an die Hand, elektr. Ströme von constanter Stärke zu gewinnen, indem man, um einen solchen zu erzeugen, nur die Temperaturdifferenz einer Kette unveränderlich zu

erhalten braucht. Deßhalb eignet sie sich ganz vorzüglich zur experimentalen Demonstration des Ohm'schen Gesetzes. Dieselbe bietet uns auch treffliche Mittel dar, sowohl sehr hohe als sehr niedere Temperaturen, besonders aber sehr kleine Temperaturdifferenzen zu messen, wovon in der Lehre von der Wärme ausführlicher die Rede seyn wird.

Merkwürdig ist Peltier's Entdeckung, daß so wie eine Erwärmung der Verbindungsstelle eines Wismuth- und Spießglanzstängelchens einen vom Wismuth zum Spießglanz gehenden elektrischen Strom hervorruft, ein elektrischer Strom, den man vom Wismuth zum Spießglanz sendet, Kälte erzeugt, was sich mittelst eines in die Kugel eines Luftthermometers eingefügten thermo-elektrischen Elementes aus genannten Metallen leicht nachweisen läßt. Erwärmung findet Statt, wenn der elektrische Strom vom Spießglanz zum Wismuth geht, in der Richtung nämlich, in welcher ihn die Erkältung der Verbindungsstelle der Metalle hervorbringt.

Sechstes Kapitel.

Hindernisse des elektrischen Stromes.

177. Schon der im Verlaufe der vorhergehenden Untersuchungen so oft besprochene Unterschied zwischen guten und schlechten Elektricitätsleitern zeigt, daß die verschiedenen Stoffe nach Maßgabe der materiellen Beschaffenheit der Fortpflanzung der Elektricität ein sehr verschiedenes Hinderniß in den Weg setzen. Da aber von den sogenannten Leitern zu den Nichtleitern kein plötzlicher Sprung besteht, sondern ein allmäliger Uebergang durch alle Abstufungen von Halbleitern obwaltet, so läßt sich darnach schon voraussehen, daß auch zwischen den besten Elektricitätsleitern, der ungeheuren Geschwindigkeit ungeachtet, mit welcher die Fortpflanzung der Elektricität in denselben vor sich geht, in Hinsicht auf das Leitungsvermögen selbst noch gewaltige Unterschiede Statt finden mögen. Die Wirkungen der aus den bisher betrachteten Elektricitätsquellen entspringenden Ströme bieten uns genaue Mittel dar, die Stoffe in Betreff ihrer Leitfähigkeit für Elektricität mit einander zu vergleichen. Es kommt nämlich nur darauf an, die Längen cylindrischer Säulen oder Drähte aus den zu untersuchenden Stoffen auszumitteln, welche bei einerlei Querschnitt in den Schließungskreis einer Quelle strömender Elektricität eingeschaltet, in Bezug auf einerlei Ablenkung der Magnetnadel einander äquivalent sind; die elektrische Leitungsfähigkeit dieser Stoffe steht dann im directen, oder der Leitungswiderstand im verkehrten Verhältnisse genannter Längen.

Allgemein gesprochen, kann man die Leitungsfähigkeit, bei äquivalentem Verhalten in demselben Schließungskreise, dem Quotienten der Länge eines cylindrischen Leiters getheilt durch den Querschnitt proportionirt setzen. Es wird nämlich eine solche Aequivalenz durch die Gleichheit der reducirten Längen bedingt (120), woraus der hier ausgesprochene Satz unmittelbar hervorgeht. Kennt man endlich die Stromstärken bei zwei oder mehreren Versuchen, welche Stromstärken aus den Ab-

lenkungen der Magnetnadel erkannt werden, und hat man überdieß die reducirte Länge des constanten Theiles des Schließungskreises gefunden, so verhalten sich die reducirten Längen des ganzen Kreises verkehrt wie die Stromstärken, woraus sich die Verhältnisse der reducirten Längen der successiv eingeschalteten Theile und daher auch jene der zu vergleichenden Leitungsfähigkeiten nach der Ohm'schen Formel ergeben. Die Uebereinstimmung der für einerlei Material aus verschiedenen Versuchen erschlossenen Werthe des Productes aus der reducirten Länge der als Theile des Schließungskreises angewandten cylindrischen Körper in den Quotienten des Querschnittes getheilt durch die Länge, wie auch die Uebereinstimmung der Werthe der reducirten Länge der Elektricitätsquelle sammt zugehörenden unveränderlich beibehaltenen Elektroden, ist zugleich ein schlagender Beweis für die Richtigkeit des Ohm'schen Gesetzes

Als Beispiel, welche Uebereinstimmung sich hierin erzielen läßt, mag ein von Pouillet angestellter Versuch dienen. Dieser Gelehrte leitete den elektrischen Strom einer Zinkkupferkette direct und ohne einen Zwischenleiter anzuwenden, durch einen unmittelbar auf eine Magnetnadel wirkenden Kupferstreifen, und bestimmte die Stromstärke. Hierauf schaltete er Kupferdrähte von gleicher Dicke aber verschiedener Länge ein, und nahm für jeden einzelnen Fall die Bestimmung der Stromstärke abermals vor. Diese betrug da, wo kein Draht zugefügt war, 2,100; hingegen nachdem man nach der Reihe Drähte von 1, 2, 4, 8, 16 Meter Länge eingeschaltet hatte, nach der Ordnung 0,707, 0,445, 0,243, 0,132, 0,064. Heißt nun die Drahtlänge, welche das Element in Bezug auf Leitungswiderstand ersetzt, $= x$, so ist

$$x : x + 1 = 707 : 2100 \text{ mithin } x = 0{,}52$$
$$x : x + 2 = 445 : 2100 \quad » \quad x = 0{,}54$$
$$x : x + 4 = 243 : 2100 \quad » \quad x = 0{,}53$$
$$x : x + 8 = 132 : 2100 \quad » \quad x = 0{,}53$$
$$x : x + 16 = 64 : 2100 \quad » \quad x = 0{,}54$$

folglich im Durchschnitt $x = 0{,}52$ Meter (Pouillet in Pogg. Ann. 42. 281).

178. Obgleich eine Volta'sche Kette sich nach Daniell's Einrichtung längere Zeit bei unveränderter Kraft erhalten läßt, so wird sie doch hierin durch ein thermo-elektrisches Element, dessen Kraft sich, so oft es nöthig ist, wieder in derselben Stärke herstellen läßt, bei Weitem übertroffen; dieses ist daher zu solchen Untersuchungen sehr geeignet. Eine besondere Empfehlung verdienen aber magneto-elektrische Ströme, die entweder durch Abreißen eines cylindrischen mit Draht umwickelten Ankers von einem Hufeisenmagnete (Lenz) oder durch Bewegung einer Drahtrolle längs eines Magnetstabes von einem Ende desselben bis zur Mitte oder umgekehrt (Gauß) erzeugt worden sind. Obgleich die Stärke des Stromes hier von der Geschwindigkeit der Bewegung abhängt, und zwar letzterer proportionirt ist, so erscheint die Gesammtwirkung desselben auf die Magnetnadel doch davon unabhängig, weil die Dauer des Stromes wieder der Geschwindigkeit der inducirenden Bewegung verkehrt proportionirt ist. Wegen der Schnelligkeit und Bequemlichkeit, mit welcher sich die Erregung der Elektricität durch magneto-elektrische Induction beliebig oft, ohne weitere Vorbereitung zu Stande bringen läßt, und wegen der stoßweisen Wirkung des Stromes, welche eine besonders leichte Benützung jedes

Galvanometers erlaubt, ist diese Methode in allen Fällen vorzüglich anwendbar. Wenn es jedoch darauf ankommt, die Leitfähigkeit eines Theiles eines Schließungskreises für die am Conductor einer Maschine oder an den Glasflächen einer Leidnerflasche angehäufte Elektricität zu beurtheilen, versagt der Multiplicator den Dienst, denn die Indicationen desselben werden von der Beschaffenheit des Schließungsleiters aus dem Grunde unabhängig, weil diese Elektricität nicht erst in dem Maße binnen gleichen Zeiten reichlicher entsteht, als der Widerstand der Schließung geringer ist, sondern sich entweder schon fertig vorfindet, oder deren Entwicklung doch nur von dem Spiele der Elektrisirmaschine abhängt, und wenn die Leitung nicht durch Isolatoren unterbrochen ist, sich vollständig entladet, mithin stets dieselbe Elektricitätsmenge, wenn gleich etwas mehr oder weniger verzögert, aber immer nur während einer sehr kurzen Zeit auf die Magnetnadel einwirkt. In diesem Falle muß man zum Behufe der Messung zu anderen Hilfsmitteln greifen. Rieß hat bei seinen genauen Versuchen hiezu die Erwärmung eines bestimmten, in den Schließungskreis eingeschalteten Stückes Platindraht in Anwendung gebracht, welche, wie die Versuche lehren, der Dauer der Entladung verkehrt proportionirt ist, und aus den Anzeigen eines den Draht in sich fassenden Luftthermometers erschlossen werden kann.

Schon Harris hatte einen ähnlichen Weg eingeschlagen. Die von Priestley und v. Marum versuchte Bestimmung des Leitvermögens der Metalle nach der Länge des durch die Entladung einer gleichmäßig geladenen Batterie geschmolzenen Drahtes ist zur Zustandebringung genauer Resultate minder geeignet.

179. Nach den bisher angestellten Untersuchungen ist die Leitfähigkeit eines Metalles ohne Vergleich größer, als die des besten flüssigen Leiters. Bemerkenswerth ist es, daß die Metalle die Elektricität leiten, ohne zersetzbar zu seyn, während die meisten anderen Körper vom geleiteten Strome zersetzt werden. Durch Temperaturerhöhung wird die Leitfähigkeit in einigen Körpern, wie z. B. in Metallen, geschwächt, in anderen, wie z. B. Schwefelsilber, verstärkt; doch ist diese Schwächung in verschiedenen Metallen verschieden, und scheint nur bis zu einer bestimmten Temperatur zu gehen, über welche hinaus jede weitere Steigerung der Temperatur die Leitfähigkeit wieder erhöht. Aus diesen Gesetzen erklärt man mehrere überraschende Erscheinungen, z. B. warum man eine Volta'sche Säule leichter isolirt, als den Conductor einer nur etwas kräftigen Elektrisirmaschine; warum ein Zinkkupferelement im Wasser eine Spannung zeigt, wie in der Luft; warum ein langer Polardraht von einer sehr gut leitenden Masse bei derselben Säule keine stärkere Ablenkung der Magnetnadel hervorbringt, als ein kürzerer von einer viel weniger leitenden Masse; warum ein dünnerer Draht leichter durch einen elektrischen Strom glühend wird als ein dicker; warum ein nur schwach glühender Draht alsogleich lebhafter glüht, wenn man ihn an einer Stelle mit Eis umgibt; warum glühendes Glas, geschmolzenes Siegellack, Pech, Wachs die Elektri-

citát nicht mehr isoliren ꝛc. Ob es für ursprünglich gleiche, aber von verschiedenen Quellen kommende Ströme in demselben Leiter verschiedene Widerstände gebe, und daher in dem elektrischen Strome ähnliche Unterschiede Statt finden, wie in den Strahlen des Lichtes und der Wärme, ist nicht ausgemacht, aber durch mehrere Erscheinungen angedeutet. (La Rive in *Ann. de Chim.* 37. 286; Pogg. Ann. 37. 235.)

Die numerischen Daten, welche man bei Untersuchungen über das elektrische Leitvermögen verschiedener Körper fand, sind folgende: Nach Becquerel: Kupfer = 100; Gold = 93,60; Silber = 73,60; Zink = 28,50; Platin = 16,40; Eisen = 15,80; Zinn 15,50; Blei = 8,30; Quecksilber = 3,45; Kalium = 1,33. Nach Ohm (der auch auf den Leitungswiderstand der Säule Rücksicht nahm): Kupfer = 100; Gold = 57,4; Silber = 35,6; Zink = 33,3; Messing = 28,0; Eisen = 17,4; Platin = 17,1; Zinn = 16,8; Blei = 9,7. Nach Davy: Silber = 109,1; Kupfer = 100; Gold = 72,7; Blei = 69,1; Platin = 18,2; Palladium = 16,4; Eisen = 14,6. Nach Lenz: Kupfer bei 0° C. = 100,00, bei 100° C. = 73,00, bei 200° C. = 54,82; Silber bei 0° = 136,25, bei 100° = 94,46, bei 200° = 68,72; Gold bei 0° = 79,79, bei 100° = 65,20, bei 200° = 54,49; Zinn bei 0° = 30,84, bei 100° = 20,44, bei 200° = 14,78; Messing bei 0° = 29,33, bei 100° = 24,78, bei 200° = 21,45; Eisen bei 0° = 17,74, bei 100° = 10,87, bei 200° = 7,00; Blei bei 0° = 14,62, bei 100° = 9,6, bei 200° = 6,76; Platin bei 0° = 14,16, bei 100° = 10,93, bei 200° = 9,02. Das Minimum der Leitkraft findet Statt im Silber bei 310,05 R. mit 59,00, in Kupfer bei 359°.00 mit 43,70, in Gold bei 349°,10 mit 50,06, in Zinn bei 269°,2 mit 13,64, in Messing bei 421°,50 mit 18,46, in Eisen bei 278°.80 mit 6 01, in Blei bei 282°,6 mit 6,02, in Platin bei 295°,3 mit 8,41, jene des Kupfers bei 0° mit 100,00 angenommen. Nach Rieß: Kupfer = 100,00; Silber 148,74; Gold 88,87; Cadmium 38,35; Messing 27,70; Palladium 18,18; Eisen 17,66; Platin 15,52; Zinn 14,70; Nickel 13,15; Blei 10,32; Neusilber 8,86. (Becquerel in Schweigg. J. 44. 359. Ohm ebend 44. 245. 46; 137. Davy in Gilb. Ann. 71. 251. Faraday in Pogg. Ann. 31. 225. Lenz ebend. 34. 418; 45. 105. Rieß in Pogg. Ann. 45. 20.) Marianini drückt das Leitvermögen der folgenden Salzlösungen (in 100 Th. Wasser) so aus, wie es die beigesetzten Zahlen bezeichnen: Salzs. Platin 418, Salpetersäure 358, salzs. Gold 307, salp. Silber 298, saures, salpeters. Quecksilberprotoxyd 278, schwefels. Kupfer 258, Schwefelsäure 239, Sauerkleesäure 179, Salzsäure 164, essigs. Kupfer 154, Salmiak 150, sauerklees. Kali 149, salzs. Eisenammoniak 136, Phosphors. mit phosphoriger Säure 127, salzs. Kalk 110, Weinsteinsäure 98,66, weinsteins. Kali 92, Essigsäure 87, Citronensäure 85,71, Alaun 85, salzs. Natrum 84,79, schwefels. Kali 80, Salpeter 78,3, benzoes. Kali 76,56, Glaubersalz 74,2, melansaures Ammoniak 71,15, Benzoesäure 70,67, kohlens. Natrum 69,2, neutral. chlors. Kali 68,9, Kalicarbon 66,7, essigs. Natrum 64,9, schwefels. Magnesia 62,64, saures weinsteins. Kali 62,4, Eisenvitriol 62,26, salzs. Baryt 60, essigs. Kali 59,2, salpeters. Kali 57, salzs. Eisenoxydul 56,53, Kali 55,68, chlors. Baryt 53,23, schwefels. Zink 51,64, Brechweinstein 50,7, phosphorsaures Natrum 46, Borax 45,31, phosphors. Kali 44,74, Natrum 32,6, Aetzammoniak 26,45, Blausäure 18,27, eisenblaus. Natrum 10,96, destill. Wasser 1,00, Alkohol 0,323. Nach Förstemann finden folgende Werthe Statt: Salzsäure 2,464, Essigsäure 2,398, Salpeter-

säure 2,283, Ammoniak 2,177, Schwefelsäure 1,737, Kalilauge 1,709, Kochsalzlösung 1,672, Bleizuckerlösung 1,560, Meerwasser 1,000. Nach Pfaff ist von den nachbenannten tropfbaren Flüssigkeiten jede vorhergehende ein besserer Leiter als die nachfolgenden: Verdünnte Salzsäure, salzs. Platin, salzs Eisenoxyd, verdünnte Salpetersäure, Salmiak, salpeters. Silber, conc. engl. Schwefelsäure, salpeters. Quecksilberoxyd, englische Schwefelsäure mit 4 Th. Wasser, starker Weinessig, verdünnte Phosphorsäure, Zinkvitriol, Kupfervitriol, Alaun, salzs. Zinnoxydul, Weinsteinsaure, Ammoniak (0,956), klees. Kali, salpeters. Blei, Eisenvitriol, essigs. Kali, kohlens. Kali, salzs. Mangan, benzoesaures Kali, weinsteins. Kali, Borax, essigsaures Natrum, Brechweinstein, schwefels. Mangan, chlors Kali, schwefels. Talkerde, schwefels. Natrum, Chlorcalcium, Salpeter, schwefels. Kali, salzs. Blei, essigs. Blei, destill. Wasser. (Marianini in Schweigg. J. 49. 22; 284, Förstemann in Kast. Arch. 6. 82, Pfaff in Gehler's Wörterb. 6. 1. Abth. 176.)

180. Wenn ein elektrischer Strom aus einer tropfbaren Flüssigkeit in einen festen Körper, sey er nun Erreger oder bloßer Leiter und umgekehrt, übergeht, so erleidet der Strom dadurch allein eine Schwächung, welche man den Uebergangswiderstand zu nennen pflegt. Wiewohl de la Rive zuerst auf denselben hingewiesen hat, so gebührt doch Fechner das Verdienst, ihn von dem richtigen Gesichtspuncte aufgefaßt und gehörig constatirt zu haben. Eine neuere Untersuchung von Poggendorff entfernt jeden Zweifel an der Existenz desselben. Die einfache Thatsache, daß die Abnahme der Stromintensität einer einfachen Kette, bei Vergrößerung des Abstandes der Erregerplatten sich in einem anderen Verhältnisse ändert, als es die bloße Steigerung des Leitungswiderstandes wegen der größeren Dicke der Flüssigkeitsschicht fordert, die der Strom zurückzulegen hat, was besonders hervortritt, wenn diese Platten einander sehr nahe stehen; beweiset schon die Existenz eines von diesem Leitungswiderstande verschiedenen Hindernisses. Hierzu gesellt sich die Erfahrung, daß der elektrische Strom einer Volta'schen Kette eine auffallende Schwächung erleidet, wenn er genöthiget wird, durch eine oder mehrere metallische, mit leitenden Flüssigkeiten wechselnde Scheidewände hindurchzugehen, und zwar eine weit größere Schwächung, als es nach dem Leitungsvermögen dieser Scheidewände, das jenes der Flüssigkeiten übertrifft, zu erwarten wäre. Da es jedoch bekannt ist, daß derlei Scheidewände eine Art Ladung annehmen, vermöge welcher sie für sich selbst elektromotorische Kräfte äußern, die jenen des ursprünglichen Stromes entgegenwirken (sogenannte Polarisation vergl. 114), so könnte man noch immer diesem Umstande das fragliche Phänomen beimessen wollen. Allein, leitet man durch solche Scheidewände rasch hinter einander entgegengesetzte Ströme, wozu sich die magneto-elektrische Maschine besonders eignet, so fällt jede Möglichkeit einer Ladung der Zwischenplatten hinweg, da die Wirkung eines jeden einzelnen momentanen Stromes durch die Gegenwirkung eines andern aufgehoben wird. Dem ungeachtet besteht der schwächende Einfluß der Diaphragmen fort, wie Poggendorff's Versuche mit einem Luft-

thermometer, durch welches der Strom geführt wurde, gezeigt haben. Die ausgezeichnete Arbeit dieses Gelehrten (Ann. 52. 49·) hat zu nachstehenden Sätzen geführt: 1) Es gibt einen von der Elektricitätsleitung im Inneren der Körper unabhängigen Uebergangswiderstand an der Grenze fester und flüssiger Leiter, und dieser tritt nicht erst nach längerer Dauer des elektrischen Stromes auf, sondern ist schon vom ersten Anbeginn desselben da. 2) Der Uebergangswiderstand hängt von der Natur der Flüssigkeit und des dieselbe berührenden Metalles ab. 3) Die Beschaffenheit der Oberfläche des Metalles hat auf ihn den größten Einfluß. 4) Er richtet sich nach der Stromstärke in den einzelnen Puncten der Fläche, an welcher der Uebergang des Stromes Statt hat, und erscheint größer, wenn der Strom schwächer ist. 5) Wird die Uebergangsfläche bei einerlei Stromstärke geändert, so ändert sich dieser Widerstand nicht im umgekehrten einfachen Verhältnisse der Vergrößerung dieser Fläche, sondern in einem kleineren. 6) Wenn die Temperatur steigt, wird der Uebergangswiderstand geringer. 7) Zwischen Metallen ist kein Uebergangswiderstand vorhanden.

Bei gleicher oder sogar geringerer elektromotorischen Kraft könnte daher eine Kette mit kleinerem Uebergangswiderstande sich kräftiger erweisen, als eine andere. Zum Theile wenigstens mag hierauf nach Poggendorff's Ansicht die größere Wirksamkeit einer Zinkeisenkette im Vergleiche mit einer Zinkkupferkette beruhen.

Siebentes Kapitel.

Nähere Erörterung der Mittel, Elektricität zu erregen.

181. Nachdem die Hauptwirkungen der Elektricität und die Gesetze, nach denen sie sich richten, an der Hand der Erfahrung betrachtet worden sind, wäre noch die Frage zu erörtern, welche Ursache der Elektricitätsentwicklung zum Grunde liege. Nach dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse läßt sich jedoch hierüber noch keine befriedigende Auskunft ertheilen, sondern höchstens eine hypothetische Vorstellungsweise wagen. Es bleibt daher nichts übrig, als die Mittel, durch welche die Elektricität aus dem latenten Zustande zur Wirksamkeit hervorgerufen wird, sorgfältig aufzusuchen, und die Erfahrungsdaten, welche sie darbieten, zu künftiger Bearbeitung aufzubewahren. Wir wollen daher noch die bis jetzt entdeckten Elektricitätsquellen als solche einer näheren Betrachtung unterziehen.

182. Das am längsten bekannte Mittel, Elektricität zu erregen, ist die Reibung. So verschieden auch die sich reibenden Körper seyn mögen, so erhält doch jedesmal einer derselben +E, der andere —E, in einem Grade, welcher durch mehrere bekannte Umstände, aber auch durch einige uns unbekannte Ursachen bestimmt wird. Gute Leiter geben beim Reiben leichter einen elektrischen Strom, als eine Span-

nung, weil sich die entwickelten Elektricitäten in dem Augenblicke, wo die Reibung aufhört oder auch nur nachläßt, neutralisiren, und daher nicht zu einer leicht und ohne Condensation bemerkbaren Spannung anwachsen. In solchen Fällen bedient man sich demnach zur Prüfung der Beschaffenheit und Größe des erregten elektrischen Zustandes eines Multiplicators. Ist einer der sich reibenden Körper ein guter, der andere ein schlechter Elektricitätsleiter, so läßt sich die Elektricität leicht zu einer namhaften Spannung bringen, und durch Elektroskope mit oder ohne Condensator wahrnehmen.

183. Die Menge der durch Reiben erregten Elektricität hängt von der Natur der sich reibenden Körper und von ihrer Temperatur ab. Die Geschwindigkeit des Reibens und der dabei Statt findende Druck sind wenigstens beim Reiben des Glases ohne Einfluß. Schon die schwächste Reibung erzeugt bemerkbare Elektricität. So z. B. werden Schwefelblumen und Mennig beim Fallen durch die Luft elektrisch; der aus einem bestaubten Buche, beim Zusammenschlagen desselben erregte Staub macht schon die Goldplättchen eines Elektroskops divergiren. Die hygroskopische Beschaffenheit der geriebenen Oberfläche ist der Elektricitätsentwicklung hinderlich, darum taugen auch weiche (meist wasserziehende) Gläser zu Elektrisirscheiben nicht gut, und bei feuchtem Wetter, wo selbst hartes Glas mit einer dünnen Wasserschichte überzogen ist, wirken selbst gut eingerichtete Maschinen schlecht; darum hilft das Abwischen mit warmen Tüchern so sehr. Die Größe der sich reibenden Flächen ist nicht ohne Einfluß auf die Elektricitätsentwicklung; doch ist es kaum möglich, gar große Flächen vollkommen mit einander in Berührung zu bringen. Wo man aber dieses nicht erreicht, da hat man an den von der Berührung ausgeschlossenen Stellen nicht bloß Puncte, die keine Elektricität geben, sondern solche, welche die Verbindung der zwei bereits entwickelten Elektricitäten begünstigen. (Peclet in *Ann. de Chim.* 57. 337.)

184. Reibt man zwei Metallplatten auf einander, so hängt die Beschaffenheit der Elektricität jeder Platte von der Natur derselben ab. In der Reihe: Antimon, Arsenik, Cadmium, Eisen, Zink, Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Blei, Platin, Palladium, Kobalt, Nickel, Wismuth ist immer das vorhergehende positiv, das nachfolgende negativ elektrisch. Die Beschaffenheit der Oberfläche, die Gestalt der sich reibenden Flächen, hat auf die Richtung des so erregten elektrischen Stromes keinen Einfluß, nur das mechanische Zertheilen der Masse stört diese Ordnung, und der zertheilte Körper hat in der Regel eine Neigung negativ zu werden; es gibt aber doch Fälle, wo er positiv ist, ja gepulvertes Antimon ist sogar gegen eine Antimonplatte positiv. Metalloxyde und Sulphuride sind in der Regel gegen ihre Metalle negativ. Die Wärme ändert oft die Beschaffenheit der Reibungselektricität. (Becquerel in *Ann. de Chim.* 47. 116; La Rive in Pogg. Ann. 37. 225 und 506.)

Kupferfeile ist negativ gegen Platten von Zink, Blei, Zinn, Eisen, Wismuth, Antimon; mit Platin, Gold und Silber wird sie gar nicht

elektrisch; Zinkfeile aber ist bei der Lufttemperatur positiv gegen Platin, Gold, Silber, Kupfer und Zinn.

185. Für schlechte Elektricitätsleiter läßt sich nicht leicht eine Reihe finden, wie die vorher angeführte, weil die Beschaffenheit der durch Reibung solcher Körper erregten Elektricität nicht bloß von der Natur, sondern auch von der Beschaffenheit der Oberfläche dieser Körper mächtig abhängt. Der Disthen nimmt sogar +E oder —E an, je nachdem man die eine oder die andere seiner Flächen mit Seide reibt. Im Allgemeinen hat es den Anschein, als wenn jener Körper die größte Neigung für —E hätte, dessen Theile am meisten aus ihrer natürlichen Lage gebracht werden. Wenigstens erklärt es sich daraus, warum von zwei Seidenbändern, die über Kreuz gerieben werden, das nach der Länge der Fasern bewegte positiv, das quer bewegte negativ elektrisch wird; warum die Wärme die Körper geneigt macht, negativ elektrisch zu werden; warum Seide schnell in der Luft bewegt, positiv und daher die Luft selbst negativ elektrisch wird. Cavallo hat es versucht, die Körper in Bezug auf die Beschaffenheit der von ihnen erregten Reibungselektricität zu ordnen, und sie in folgende Reihe, vom elektro-positivsten angefangen, zusammengestellt: Katzenfell, polirtes Glas, Wollenzeug, Federn, Holz, Papier, Seide, Schellack, mattes Glas.

186. Der innere Grund der Elektricitätsentwicklung durch Reibung ist völlig unbekannt. Die beim Reiben entwickelte Wärme scheint nicht zugleich die Quelle der Elektricität zu seyn, weil letztere nicht in dem Maße reichlicher entwickelt wird, in welchem sich die Temperatur beim Reiben steigert. Der Umstand, daß sich beim Reiben ein eigenthümlicher Geruch verbreitet, und daß das Amalgam auf den Reibzeugen der Elektrisirmaschinen ein sehr leicht oxydirbarer Körper seyn muß, führt zwar auf die Vermuthung, die Reibung leite einen chemischen Proceß ein, und dieser sey die eigentliche Quelle der Elektricität. Allein es ist nicht erwiesen, daß jener Geruch mit der Elektricitäts-Entwicklung in nothwendiger Verbindung stehe, ja Davy's Versuche, bei welchen sich ergab, daß eine kleine Elektrisirmaschine in Wasserstoffgas, in kohlensaurem Gas ꝛc. Elektricität entwickle, und in letzterem sogar mehr als in atm. Luft, ist dieser Ansicht sogar entgegen. Das Wahrscheinlichste ist, daß die durch Reibung erzeugte Molecularbewegung die erste Quelle der Elektricität sey.

Ueber den Geruch, welcher sich während des Spieles einer kräftigen Elektrisirmaschine einstellt und auch längere Zeit nachher anhält, hat neuestens Schönbein Untersuchungen bekannt gemacht. Nach ihm entsteht derselbe Geruch auch bei der in größerem Maßstabe, so wie es eine Grove'sche Batterie gestattet, vor sich gehenden Elektrolysirung des Wassers, und zwar an der positiven Elektrode, wenn diese Platin oder Gold ist. Schönbein sieht das riechende Princip, welches sich in verschlossenen Flaschen beliebig lange aufbewahren läßt, als das Anion eines eigenen, in der Luft und im Wasser befindlichen, bisher der Aufmerksamkeit der Chemiker entgangenen Elektrolyten an. Als eine merkwürdige Eigenschaft des riechenden Stoffes erscheint die Fähig-

keit desselben, einen Streifen Platin und Gold von gewöhnlicher Temperatur, dessen Oberfläche frei von Feuchtigkeit ist, negativ zu polarisiren, d. h. diese Metalle für einige Zeit in einen solchen Zustand zu versetzen, daß sie in einen Schließungskreis, z. B. den eines Galvanometers gebracht, einen elektrischen Strom erregen, zu dem sie sich als Kathode verhalten. Wasserstoffgas hebt dieses elektromotorische Vermögen in wenigen Augenblicken auf. (Pogg. Ann. 50. 616.)

187. Ein anderes Erregungsmittel der Elektricität ist die durch den Druck bewirkte Annäherung ihrer Theile. Schon vor vielen Jahren haben mehrere Physiker hierüber Versuche angestellt und mehrere Körper gefunden, welche durch Druck merklich elektrisch werden. Insbesondere fand diese Eigenschaft Haüy in einem hohen Grade an kleinen Doppelspathen. In diesen kann man durch bloßen Druck zwischen den Fingern + E erregen. Eben so hat Libes bemerkt, daß eine isolirte Metallscheibe — E erhält, wenn man sie an gefirnißten Taffet andrückt. Dessaignes hat diese Versuche noch mehr erweitert. Deßungeachtet wußte man noch nicht, ob die Fähigkeit, durch Druck elektrisch zu werden, allen oder nur einigen Körpern zukomme, bis durch Becquerel's Untersuchungen die wichtige Wahrheit völlig sicher gestellt wurde, daß durch Druck jeder Körper in einen elektrischen Zustand versetzt werden kann Becquerel verfertigte aus dem zu untersuchenden Körper ein Scheibchen, befestigte es mittelst Siegellack an ein Glasstäbchen, das zur Vermeidung der Elektrisirung durch etwaige Reibung mit einer hölzernen Handhabe versehen war, überzeugte sich zuerst, daß hieran gar keine freie Elektricität hafte, und drückte nun das Scheibchen an ein zweites eben so befestigtes, isolirtes oder an einen andern beliebigen Körper. Versuche, die er auf diese Weise mit vielen Körpern, z. B. mit Korkholz, Hollundermark, Kautschouk, Orangeschalen, Stärkmehl, Doppelspath Gips, Flußspath, Schwerspath, mit mehreren Metallen und selbst mit eingedickten Flüssigkeiten angestellt hat, lehrten, daß die an einander gedrückten Körper, wenn sie isolirt sind, entgegengesetzte Elektricitäten zeigen; ist aber nur einer davon isolirt, so gibt zwar dieser immer Spuren freier Elektricität, aber am andern sind die der entgegengesetzten nur dann merklich, wenn er ein schlechter Leiter ist. Welcher von beiden positiv oder negativ elektrisch wird, scheint vom Verhältnisse ihrer Elasticität abzuhängen. Die Menge der Elektricität wird durch die Natur der zusammengedrückten Körper, durch die Leitfähigkeit, Temperatur und Beschaffenheit der Oberfläche der gedrückten Stoffe bestimmt. Blätteriger Gips wird durch Druck viel stärker elektrisch als Kalkspath. Körper, die sich stark adhäriren, geben mehr Elektricität als solche, die dieses nur in einem geringen Grade thun. Bei denselben Körpern und einem mäßigen Drucke ist die entwickelte Elektricitätsmenge dem Drucke nahe proportionirt, sobald auch die Berührungsflächen in diesem Verhältnisse wachsen. Je geringer die Leitfähigkeit der zusammengedrückten Körper ist, desto größer wird die Menge der frei gewordenen Elektricität bei übrigens gleichen Umständen. Drückt man einen guten und einen schlechten Leiter an derselben Stelle mehrere Male hinter einan-

der mit veränderter Stärke zusammen, so findet man bei der Trennung eine Elektricität von solcher Stärke, wie sie dem stärksten Drucke entspricht. Bei guten Leitern vereinigen sich die entgegengesetzten Elektricitäten im Augenblicke, wo der Druck aufhört, und man kann nur durch eine sehr schnelle Trennung der Körper einen Theil der frei gewordenen Elektricität retten; je geringer aber ihr Leitungsvermögen ist, desto weniger braucht man bei der Trennung eilig zu verfahren, um noch freie Elektricität wahrzunehmen. Uebrigens wird aber doch bei einerlei Leitungsvermögen und bei einerlei Druck die Menge der Elektricität mit der Schnelligkeit der Trennung im geraden Verhältnisse stehen. Dieses bemerkt man besonders, wenn man eine Kork- und eine Orangenscheibe zusammendrückt, und sie bald schneller, bald langsamer von einander trennt. Den Einfluß der Temperatur auf die Elektricitätserregung beweiset der Umstand, daß zwei Korkscheiben, die man durch Entzweischneiden eines Stückes erhalten hat, in dem Falle, wo sie durch einen Druck keine elektrische Ladung annehmen, sich mit Erfolg in die allgemeine Regel fügen, sobald eines dieser Stücke erwärmt wird. Dasselbe zeigen zwei Doppelspathe. Läßt man aber den Druck so lange anhalten, bis beide Körper wieder dieselbe Temperatur angenommen haben, so wird man sie ohne die geringste Spur der Elektricität von einander trennen. Der Feuchtigkeitszustand modificirt die Menge der frei gewordenen Elektricität bedeutend; denn man findet, daß z. B. Schwerspath, Gips, Glimmer u. s. w. immer dann nach dem Drucke merkliche Elektricität zeigen, wenn sie früher abgetrocknet wurden. Die Beschaffenheit der Oberfläche hat in so weit auf die hier zu erörternden Phänomene Einfluß, als sie die Leitfähigkeit ändert. So wird z. B. der sonst schlecht leitende Doppelspath ein guter Leiter der Elektricität, wenn man ihm seine Politur benimmt, und behält dann nur im isolirten Zustande seine Elektricität. (Gilb. Ann. 73. 117; Pogg. Ann. 12. 174.)

188. An die Elektricitätserregung durch Druck schließt sich unmittelbar die durch **Trennung** der Theile an. Ein Glimmerplättchen, das gespalten wird, zeigt im Dunkeln ein lebhaftes Licht, Zucker und Kreide thun beim Zerstoßen dasselbe. Daß dieses elektrischen Ursprunges sey, erkennt man daraus, daß, wenn man an einem Glimmerplättchen die Spaltung nur an einem Ende macht, hierauf die Blätter an isolirte Handgriffe befestiget und mit diesen die Trennung vollendet, diese Blätter sich merklich elektrisch zeigen. So wie Glimmer verhalten sich alle blätterigen und überhaupt alle vollkommen krystallisirten Körper, wenn sie rein gespalten, nicht zerrissen oder gebrochen werden; doch geschieht dieses nicht beim Spalten nach jedem, sondern nur nach einem bestimmten Blätterdurchgange. So z. B. erscheinen Theilungsstücke eines Topases nur dann elektrisch, wenn die Spaltung nach dem auf der Hauptaxe senkrechten Blätterdurchgange vorgenommen wurde. Das Elektrisiren durch Spalten ist dem durch Drücken sehr ähnlich. Denn wird z. B. ein Glimmerblatt gespalten und dann jeder der zwei Theile durch Berühren mit der Hand seiner Elektricität

beraubt, dann aber wieder zusammengedrückt; so findet man sie wieder nach dem Auseinandernehmen eben so elektrisch, wie nach der ursprünglichen Trennung (Pogg. 12. 150). Nach Dumas zeigt Borsäure, die in einem Platintiegel geschmolzen worden ist, hierauf aber fest wird und kleine Sprünge bekommt, an jedem Sprunge ein lebhaftes Licht, das man selbst bei Tage bemerken kann. In einer Bewegung, wie sie bei der Trennung der Körpertheile Statt hat, scheint auch das Elektrischwerden vibrirender Platten seinen Grund zu haben. (*Compt. rend.* 6. 48. Pogg. Ann. 43. 187.)

189. Obgleich nach Pouillet's und Peltier's Versuchen reines Wasser durch den Act der Verdünstung an sich, ohne Abscheidung von Stoffen, die im Wasser aufgelöst sind, keine Elektricität erregt, so geben sich doch, wenn Dampf aus der Sicherheitsklappe eines Dampfkessels ausströmt, sehr starke Aeußerungen von Elektricität kund, wie dieß neuerlich in der Nähe von Newcastle bemerkt wurde. Armstrong erhielt aus dem Dampfstrahle lebhafte Funken, mittelst welchen eine Leidnerflasche geladen werden konnte. Nach dessen Versuchen scheint die Elektricität erst bei der Expansion des eingeschlossenen Dampfes während des Austretens in die Luft frei zu werden. Die Beschaffenheit des Wassers hat darauf Einfluß, denn ein mit Regenwasser gespeister Dampfkessel zeigte diese Erscheinungen nicht (Pogg. Ann. 52. 328). Es bedarf daher noch einer sorgfältigen Untersuchung, in wiefern Verdichtung oder Verdünnung eines expansiblen Körpers oder Formänderung eine Elektricitätsquelle seyn könne.

190. So wenig, als es nach dem gegenwärtigen Zustande unserer Kenntnisse möglich ist, den Ursprung der Elektricität bei der Reibung auf klare Begriffe zurückzuführen, läßt sich in Betreff der andern so eben betrachteten Erregungsarten der Elektricität etwas Befriedigendes sagen. Nicht glücklicher ist man in der Nachweisung des Grundes der bereits im Vorhergehenden ausführlich betrachteten Hervorrufung der Elektricität durch Aenderung der Temperatur; denn bisher hat es kaum ein Physiker gewagt, hierüber eine Vermuthung zu äußern. Desto eifriger ist man bemüht, die Quelle ausfindig zu machen, aus welcher die galvanische Elektricität stammt, ohne jedoch einer der darüber aufgestellten und auf das Lebhafteste angegriffenen und vertheidigten Hypothesen allgemeine Zustimmung erringen zu können. Volta und Jene, die ihm folgen, sehen die Berührung der Metalle als die unmittelbare (nicht bloß veranlassende) Ursache des Elektrischwerdens, mithin als eigentliche Elektricitätsquelle an; Andere, wie Fabroni, Parrot, Wollaston, Faraday, La Rive ꝛc. leiten diese aus einer chemischen Wirkung her, welche Flüssigkeiten auf Metalle ausüben. Beide Parteien führen Gründe für sich an, und beiden werden Gegengründe gegenüber gestellt, ohne daß der einen oder der andern hiedurch ein entschiedenes Uebergewicht zu Theil würde, so daß hier nichts erübrigt, als die Ansichten beider aus einander zu setzen, und hierauf das folgen zu lassen, was nach unserer Ansicht der Wahrheit am nächsten zu stehen scheint.

191. Die Anhänger der Contacthypothese nehmen an, es werde durch Berührung der Metalle unter sich eine **elektromotorische** Kraft geweckt, deren Wirksamkeit darin besteht, das elektrische Princip in den sich berührenden Körpern zu zersetzen und einen bestimmten Antheil + E in dem einen, einen entsprechenden Antheil — E in dem andern Metalle anzuhäufen und deren Wiedervereinigung über die Grenze der Berührungsstelle zu verhindern. Die Spannungsreihe der Metalle und der festen Leiter stellt die relative Größe dieser Kraft zwischen zwei Stoffen der Reihe dar. Flüssige Körper können theilweise zwar mit flüssigen oder festen auch eine solche Kraft wecken, aber diese ist in vielen Fällen anderer Natur, als die vorher genannte, und darum geben viele flüssige Stoffe unter sich und mit festen keine Spannungsreihe, aber die gesammte, in einem Elemente, d. i. in zwei Erregern und einem flüssigen Leiter frei gewordene Elektricität begreift nicht bloß die durch Berührung der Metalle, sondern auch durch Berührung eines Metalles mit der Flüssigkeit erregte Elektricitätsmenge. Werden mehrere Paare von Elektromotoren mit einem flüssigen Leiter zu einer Säule zusammengestellt, so ist jeder flüssige Leiter sowohl, als jeder Elektromotor zugleich ein Leiter der Elektricität; er nimmt davon aus der Umgebung so viel auf, als das Gleichgewicht fordert, und leitet es weiter, und das, was ein Körper auf solche Weise durch Mittheilung an die übrigen verloren hat, ersetzt die elektromotorische Kraft wieder. Daher kommt es, daß eine solche Säule eine der Anzahl ihrer Plattenpaare proportionirte elektrische Spannung annimmt. Werden die Enden einer Säule durch einen metallischen oder flüssigen Leiter mit einander verbunden, so entsteht ein Strom, dessen Intensität, eben weil er lediglich der Spannung an den Polen seinen Ursprung verdankt, dieser Spannung nothwendig proportionirt ist. Die Elektrolysirung ist Folge des Stromes, ohne irgend etwas zu demselben beitragen zu können.

Man muß die Ansicht, welche gegenwärtig **Volta's** Namen führt, von jener unterscheiden, die dieser große Physiker selbst aussprach. Fortgesetzte Erfahrungen mußten natürlicher Weise dieselbe mehr ausbilden, auch theilweise berichtigen. Doch das Princip derselben ist unverändert geblieben. **Volta** theilte die Elektricitätsleiter in Elektromotoren und bloße Leiter. Erstere, wozu er die Metalle zählte, stellte er in die Spannungsreihe; die letzteren, durchgehends flüssige Körper, schloß er davon aus. Das Grundgesetz der Spannungsreihe, daß nämlich die Spannung oder elektrische Differenz zweier entfernteren Glieder der Summe der Spannungen der dazwischen liegenden Paare gleich komme, wird bezüglich der Metalle durch den Umstand gerechtfertiget, daß eine in sich zurückkehrende Reihe derselben bei gleicher Temperatur keinen Strom enthalte. Neuere Erfahrungen nöthigen dieses Gesetz auch auf Flüssigkeiten, die gute Elektricitätsleiter, ja sogar Elektrolyte sind, z. B. Schwefelkaliumlösung, verdünnte salpetrige Säure u. dgl. auszudehnen, weil sich Zusammenstellungen derselben mit Elektromotoren angeben lassen, in welchen sich gar kein Strom zeigt. Was die Spannungsreihe selbst betrifft, so gibt sie, an sich genommen, gar keinen Anhaltspunct zur Beurtheilung der Wirksamkeit einer Combination in der **Volta'schen** Kette; sondern es ist nöthig, auf die Flüs-

sigkeiten zu achten, welche als Leiter dienen; diese modificiren den Erfolg dergestalt, daß für jede Flüssigkeit, womit eine Kette geladen werden soll, eine eigene Spannungsreihe aufgestellt werden muß. Allein damit geht der Vortheil, den Volta's schöner Gedanke bringen sollte, gänzlich verloren.

Nachstehende Betrachtung wird zeigen, wie man nach der Contacthypothese die gegen die Pole hin Statt findende Zunahme der Spannung in einer isolirten Säule rechtfertigt.

Es sey in einem Plattenpaare aus Zink und Kupfer die Elektricitätsmenge des Zinkes $+a$, die des Kupfers $-a$, und man bringe auf die Kupferplatte einen leitenden, feuchten Lappen L, den wir vor der Hand als nicht elektromotorisch wirkend ansehen wollen. Dieser nimmt von der Kupferplatte so viel Elektricität auf, daß er mit ihr eine gleiche Spannung erhält, dieser Verlust wird aber im Kupfer augenblicklich durch die fortwährend thätige elektromotorische Kraft wieder ersetzt und sein Elektricitätszustand ist wieder $-a$. Es haben daher die Theile der Säule Z K L in der Ordnung, wie sie auf einander folgen, die Elektricitäten $+a$, $-a$, $-a$. Legt man auf L eine zweite Zinkplatte Z, so nimmt auch diese durch den feuchten Leiter an der Elektricität der ersten Kupferplatte Theil, und der Zustand der Säule Z K L Z ist in ihren einzelnen Theilen folgender: $+a$, $-a$, $-a$, $-a$. Nun lege man auf Z ein zweites K. Als Leiter nimmt dieses K die Elektricität $-a$ an, als Erreger erhält es abermals $-a$, das Z bekommt $+a$, und dieses $+a$ wird allen rückwärts befindlichen Gliedern mitgetheilt, so daß demnach in der Säule folgende elektrische Zustände Statt finden:

	Z	K	L	Z	K
Das erste Element als Erreger, das zweite als Leiter	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$.
Das zweite Element als Erreger, das erste als Leiter	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$.
Beide Elemente als Leiter und Erreger	$+2a$,	0	0	0	$-2a$.

Auf ähnliche Weise erhält man in einer Säule aus drei Elementen folgende Elektricitätszustände der einzelnen Theile:

	Z	K	L	Z	K	L	Z	K
Das erste Element als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$.
Das zweite als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$.
Das dritte als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$.
Alle drei Elemente als Leiter und Erreger	$+3a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-3a$.

Es nimmt demnach die Spannung sowohl der Zink- als der Kupferplatten von ihrem Pole an nach der entgegengesetzten Seite ab, wie die Glieder einer arithmetischen Reihe, gerade wie es die Erfahrung zeigt. Die Differenz zwischen der letzten Zink- und Kupferplatte ist hier $= 6a$. Steht aber die Kupferplatte mit der Erde leitend in Verbindung, so ist ihre Spannung $= 0$; und daher, wenn dieselbe elektrische Differenz zwischen den äußersten Platten Statt finden soll, jene der äußersten Zinkplatte $= 6a$, doppelt so groß als vorhin. Hier ist aber auf die elektromotorische Kraft des flüssigen Leiters keine Rücksicht genommen worden. Kommt auch diese in Rechnung, so wird dadurch die Elektricität der Säule größer oder kleiner, je nachdem die elektromotorische Kraft der Flüssigkeit jene der festen Erreger unterstützt oder ihr entgegen wirkt.

192. Die Hypothese des chemischen Ursprunges der Elektricität spricht sich, wenigstens im Sinne ihres beharrlichsten Vertheidigers,

La Rive, folgendermaßen aus: Wird ein Metall in ein gasförmiges oder tropfbares Mittel gebracht, welches es anzugreifen vermag, so wird, sobald die chemische Thätigkeit beginnt, seine natürliche Elektricität zersetzt, und es vereinigt sich ein Bestandtheil desselben mit dem Metalle, der entgegengesetzte mit der Flüssigkeit. Besteht die chemische Wirkung in einer bloßen Verbindung der Atome der Flüssigkeit mit jenen des Metalles, so wird letzteres positiv, erstere negativ elektrisch; besteht aber der chemische Proceß zugleich in einer Verbindung und Trennung der Atome, so hängt es davon ab, welche von beiden mehr Elektricität liefert, denn immer ist die bei der Trennung der Atome eintretende Elektrisirung jener bei der Verbindung derselben Statt findenden entgegengesetzt, und daher das Resultat beider Processe von der Differenz ihrer Wirkungen abhängig. Die Intensität der bei einem derlei Processe frei werdenden Elektricität richtet sich nach der Natur der sich trennenden oder verbindenden Atome und nach den Hindernissen, die der Wiedervereinigung beider frei gewordenen Elektricitäten im Wege stehen. Befinden sich zwei sich berührende Metalle in einem auf beide, jedoch mit ungleicher Stärke chemisch wirkenden Mittel, so werden auch beide elektrisch, und zwar ist immer das mehr angegriffene positiv, das andere negativ. Werden mehrere solche Paare mittelst eines flüssigen Leiters zu einer Volta'schen Säule zusammengestellt, so dienen für jedes Paar alle übrigen als Leiter, die gleichzeitig in demselben Körper vorkommenden entgegengesetzten Elektricitäten neutralisiren sich, und so kommt es, daß sich die positive Elektricität nach einer, die negative nach der andern Seite zu anhäuft.

Der wesentliche Unterschied zwischen diesen beiden Ansichten besteht demnach in Folgendem: Nach der Berührungshypothese wird Elektricität durch eine den Metallen inwohnende, in denselben durch Berührung erregte, von allen bekannten Kräften verschiedene Kraft hervorgerufen, ohne materielle Veränderung dieser Metalle; beide spielen dabei eine active Rolle, der feuchte Leiter verhält sich theils passiv, indem er die Elektricität der festen Erreger leitet, theils activ, wenn er selbst elektromotorisch wirkt. Nach der chemischen Hypothese wird nur die Elektricität, welche in dem feuchten Leiter gebunden war, frei, weil die chemische Vereinigung seiner Bestandtheile aufhört. Die Metalle, entweder beide oder nur eines derselben, wirken nur durch ihre Verwandtschaft zu den Bestandtheilen des flüssigen Leiters; es ist eine Berührung von zweien vortheilhaft, damit ein Gegensatz chemischer Wirkungen Statt finde, und die Elektricität, welche die weitere Zersetzung des Leiters und die Oxydation eines Metalles hindert, in das andere abgestoßen werden könne; die Flüssigkeit wirkt daher durch die chemische Verwandtschaft ihrer Bestandtheile und durch ihre Zersetzbarkeit. Während nach der Berührungshypothese die Körper in zwei Classen zerfallen, nämlich in solche, welche als Elektromotoren und Leiter, und in solche, welche bloß als Leiter wirken; so sind sie nach der chemischen Hypothese entweder Leiter, ohne Elektrolyte zu seyn, oder Leiter und Elektrolyte zugleich. Nach der Berührungshypothese wird die Vereinigung der durch Berührung von einander getrennten Elektricitäten von der elektromotorischen Kraft verhindert, nach der chemischen Hypothese stehen der Vereinigung der zwei entwickelten Elektricitäten nur gewöhnliche Leitungswiderstände entgegen, und die chemische Wirkung

ersetzt fortwährend, so lange sie fortdauert, das, was durch Neutralisirung der beiden Elektricitäten verloren gegangen ist.

193. Um der einen oder der andern dieser beiden Ansichten den Sieg zuzuwenden, hat man von der einen Seite behauptet, daß durch den bloßen Contact gar keine Elektricität entstehe, sondern dabei stets ein chemischer Proceß im Spiele sey, ja man ist sogar so weit gegangen, die Oxydationsfähigkeit der edlen Metalle zu Hilfe zu rufen; von der andern Seite hat man die Elektricitätserregung durch chemischen Proceß in Zweifel gestellt. Es dürfte schwer werden, derlei Behauptungen auf eine gründliche Weise zu unterstützen, denn der Fundamentalversuch Volta's ist ein zu wohl begründetes Factum, um an seiner Richtigkeit zweifeln zu wollen, und er wurde vielfach, und unter Umständen angestellt, wo an einen eigentlichen chemischen Vorgang nicht zu denken ist (Pfaff's Versuche mit einem Zinkkupferelemente in verschiedenen trockenen Gasen), und eben so wenig läßt sich die Möglichkeit in Abrede stellen, daß durch chemische Vorgänge Elektricität erregt werde, wenn man in Erwägung zieht, daß die Elektricität sowohl Verbindungen, als Trennungen der Stoffe bewirke. Doch muß man sich hüten, den Versuchen, durch welche man den chemischen Ursprung der Elektricität auf das Beste zu rechtfertigen glaubt, z. B. der Becquerel'schen Kette ein zu großes Gewicht beizulegen, da, wenn man den Metallcontact der Galvanometerdrähte mit den betreffenden Flüssigkeiten ausschließt, die Wirkungen gewaltig herabsinken (Fechner in Pogg. Ann. 48. 1). Eben so wenig läßt sich die feste elektrolytische Action zu Gunsten der chemischen Hypothese geltend machen; denn es ist dieselbe eine allgemeine Eigenschaft der elektrischen Ströme, und kommt daher auch den aus andern Quellen stammenden, z. B. den magneto-elektrischen Strömen zu. Daß es übrigens sehr schwer ist, den wahren Antheil des Chemismus an der Elektricitätserregung in das gehörige Licht zu stellen, hat seinen Grund darin, daß es gar keine chemische Wirkung ohne Contact gibt, und daß der Effect selbst von so vielerlei Umständen abhängt, als: Concentrationsgrad, Temperatur der Flüssigkeiten u. s. w. Mit welcher Behutsamkeit man bei der Beurtheilung der auf diesen Gegenstand sich beziehenden Argumente zu Werke gehen müsse, kann man am besten aus den durch Gründlichkeit sich auszeichnenden Abhandlungen deutscher Physiker lernen.

194. Ein bei der Erörterung der Theorie der galvanischen Action wohl zu berücksichtigender Umstand ist, daß der dadurch hervorgerufene Strom Effecte hervorbringt, die auf ihn selbst zurückwirken und seine Stärke und Richtung abändern. Es wirkt ein elektrischer Strom unmittelbar auf die erregende Kraft ein, und macht den Körper, in welchen der Strom von der Flüssigkeit eintritt, gegen jenen, von welchem er in die Flüssigkeit gelangt, positiv-elektrisch. Dieses zeigt folgender Versuch: Man nehme zwei ganz homogene Silberplatten, tauche jede derselben in ein Glas mit Wasser, verbinde sie mit einander außerhalb der Gläser leitend, und bringe in eines der Gläser, dem Silber zur Seite, einen Zinkstreifen, in das andere einen Kupferstreifen und ver-

binde diese letzteren selbst mit einander zu einem Zinkkupferelemente. Nimmt man nach einigen Minuten die Silberplatten aus der Flüssigkeit, verbindet sie mit einander zu einer einfachen Kette, so erscheint die Platte, welche sich neben dem Kupfer befand, und in welche die Elektricität vom Wasser einströmte, positiv, die andere negativ. Diese Aenderung erleidet ein Körper um so leichter, je öfter man ihn einem elektrischen Strome bereits ausgesetzt hat; sie erstreckt sich aber nur auf den in die Flüssigkeit getauchten Theil desselben. Daraus folgt nun, daß in einem in einer Flüssigkeit befindlichen Plattenpaare der Strom immer schwächer werden, und endlich gar in entgegengesetzter Richtung auftreten müsse. Dieses fand Marianini bei einem Elemente aus Graphit und Platin in einem Gemische von 100 Th. Wasser und 1 Th. Schwefelsäure. Da erschien zuerst das Platin negativ, der Graphit positiv; nach öfterem Eintauchen verschwand der Strom ganz, und trat endlich in entgegengesetzter Richtung auf. Die Zeit, innerhalb welcher diese Veränderung vor sich geht, hängt vom feuchten Leiter ab und ist desto kürzer, je besser dieser leitet. Wasser bewirkt nie eine vollkommene Umkehrung des Stromes; Platten, die nicht oxydirbar sind, wie z. B. von Gold und Platin, kehren, wenn sie einige Zeit der Luft ausgesetzt sind, wieder in ihre ursprüngliche elektrische Reihe zurück. Aus diesem Verhalten folgt, daß die Kraft eines Elektromotors bloß durch die Wirkung des einige Zeit lang Statt findenden elektrischen Stromes eine Aenderung erleide. Marianini hat dieses durch eigene Versuche mit Volta'schen Säulen näher erörtert und sich überzeugt, daß der Verlust, den ein solcher Apparat erleidet, gleich nach dem Schließen der Kette am schnellsten erfolge, in der Folge immer langsamer vor sich gehe und endlich eine bestimmte, unüberschreitbare Grenze erreiche. Diese Abnahme erfolgt (nach Fechner) desto schneller, je kürzer der die Kette schließende feste oder flüssige Leiter, je größer die Zahl der Plattenpaare und je kleiner die erregende Oberfläche jedes Paares ist; schneller, wenn die Fläche des positiven Körpers die des negativen übertrifft als umgekehrt. Uebrigens hängt sie auch von der Natur der Platten und der flüssigen Leiter ab, und befolgt selbst bei ganz gleich construirten Ketten, deren anfängliche Stärke dieselbe ist, einen verschiedenen Gang. Eine einfache Kette mit großen, weit von einander abstehenden Platten aus Zink und Zinn, mit stark saurem Wasser, oder noch besser mit Kupfervitriollösung, durch einen langen Polardraht geschlossen, wird ihre Kraft nur sehr langsam verlieren (Marianini in Zeitschr. 3. 365. 9. 241. Fechner in Schweigg. J. 63; 249). Der Grund dieses Phänomens scheint darin zu liegen, daß durch den elektrischen Strom die Oberfläche der Metalle verändert und so die Action, welche die Elektricitätentwicklung bedingt, modificirt wird. Säulen mit amalgamirten Zinkplatten sind darum auch wirksamer und dauernder, weil die Zinkfläche immer rein bleibt, indem das gebildete Oxyd schnell durch die freie Säure entfernt wird.

195. Fassen wir die Streitfrage unparteiisch auf, so scheint uns keine der genannten zwei Hypothesen ausschließend zu genügen, son-

dern ein Mittelweg zwischen beiden der Wahrheit am nächsten zu kommen. Die Physiker halten nämlich schon längst die Kräfte, welche der Adhäsion, und jene, welche der chemischen Verwandtschaft zum Grunde liegen, nicht für wesentlich verschieden; ja einige haben es sogar versucht, die Verwandtschaftsgrade nach der Größe der Adhäsion zu bestimmen (Scholz's Physik. 4. Aufl. 1. 152). Es ist dem Geiste der Wissenschaft nach ihrem gegenwärtigen Stande nicht unangemessen, die chemische Anziehung als eine verstärkte Adhäsionskraft anzusehen. Prechtl (Pogg. Ann. 15. 223) hat in der That die innige Verbindung zwischen der Adhärenz der Metalle und ihrer elektrischen Differenz, d. h. ihrer relativen Stelle in der Spannungsreihe nachgewiesen; Becquerel hat gezeigt, daß auch durch Capillaritätswirkung, die bekanntlich ganz auf der Adhäsion und Cohärenz beruht, Elektricität erregt werde. Ferner ist aus Girard's Versuchen, so wie aus der Theorie der Haarröhrchen (Pogg. Ann. 5. 41) bekannt, daß die Adhäsion eine Aenderung der Dichte der flüssigen an feste grenzenden Körperschichten bewirke. Auf diese Thatsachen gestützt, denken wir uns die Elektricitätserregung bei einem Volta'schen Elemente als den Erfolg der Molecularveränderung, welche sich berührende Körper, zwischen denen eine Adhäsion Statt findet, durch die Adhäsionskraft erleiden. Die Veränderung bezieht sich oft nur auf die Dichte der sich berührenden Körper, und zwar oft sogar nur auf die der Berührungsstelle nächsten Schichten; bei intensiver Kraft und günstigen Umständen aber auch auf die chemische Natur der Körper. Diese Ansicht bedarf nicht der Annahme einer neuen Kraft, wie jene der Contacthypothese, und macht doch das Erscheinen von Elektricität ohne chemische Wirkung erklärbar, sie hat mit der chemischen Hypothese gemein, daß sie wie diese die Erscheinungen einer einfachen Kette aus den Molecularkräften ableitet, daß der flüssige Körper durch diese Kraft und nicht bloß als Leiter wirksam gedacht wird, und daß die Bestandtheile der Kette durch ihre physische Veränderung die Quelle der Elektricität werden, die Berührung aber diese Veränderung möglich mache, mithin nur veranlassende, nicht die eigentlich wirkende Ursache des Elektrischwerdens sey. Sie steht nach ihrem Sinne der chemischen Hypothese näher als der Contacthypothese, welche eine Elektricitätentwicklung ohne weitere Veränderung der Körper annimmt, ja die chemische Ansicht ist ein besonderer Fall von dieser. Das gleichzeitige Auftreten chemischer Wirkungen mit Elektricitätentwicklungen, und daß die chemische Kraft einer einfachen Kette in dem Maße ab- und zunimmt, wie die chemische Wirkung zu dem flüssigen Leiter und den Bestandtheilen der Kette kleiner oder größer wird, steht mit dieser Ansicht im besten Einklange. Es geht aus derselben hervor, daß die elektrische und die Molecularkraft eines und dasselbe sind, und daß letztere jedesmal als Elektricität erscheint, wenn sie aus einer Wirkungsweise in eine andere übergeht, wie z. B., wenn sie aufhört, die Bestandtheile des Wassers zusammen zu halten und dafür das Zink oxydirt. Schönbein's neuestens aufgestellte Hypothese der chemischen Tendenzen ist von dieser Ansicht nicht wesentlich verschieden. (Pogg. Ann. 43. 89 u. 229.)

Außer den bereits genannten sind noch folgende Abhandlungen als Hilfsmittel zur weiteren Verfolgung des Ganges der Streitfrage über die Contact- und die chemische Hypothese zu empfehlen: Davy in Phil. Transact. 1807 u. 1826. Revision der Lehre vom Galvano-Voltaismus von Pfaff. Altona 1837. Derselbe in Pogg. Ann. 49. 461; 51. 111 u. 197; 53. 303; Ueber Contact-Elektricität von Karsten, Berlin 1836 La Rive in Pogg. Ann. 15. 98; 37. 225; 40. 355. u. 515; 46. 489. Faraday ebend. 35. 1; 52. 149 und 547; 53. 316, 479 u. 548. Fechner ebend. 41. 225; 42. 481; 44. 37. Lenz ebend. 47. 584; 48. 1 u. 225; Poggendorff ebend. 49. 31; 53. 436.

196. Es ist kein Zweifel, daß in einem lebenden Körper durch den Lebensproceß beständig Elektricität erregt werde, und große Physiologen haben die Elektricität als beständigen Begleiter der Lebensthätigkeit angesehen. Die Haare von Katzen, Pferden 2c., ja selbst von jungen Personen sind oft ohne äußere Veranlassung so stark elektrisch, daß sie sträubend in die Höhe steigen; Pflanzen sah man zur Zeit des intensivsten Lebens Funken geben, ja Pouillet hat sogar die durch die Vegetation entwickelte Elektricität durch mehrere directe Versuche bestimmt. Einige Fische, wie z. B. der Zitteraal (gymnotus electricus), der Zitterrochen (raja torpedo), der Zitterwels (silurus electricus), der Stachelbauch (tetrodon electr.), der Spitzschwanz (trichiurus electr.) können gleich einer geladenen Leidnerflasche Schläge ertheilen, wozu sie ein eigenes, einer Volta'schen Säule ähnliches Organ besitzen. J. Davy hat die Identität der Elektricität des Zitteraals mit der Reibungs- und Berührungselektricität factisch nachgewiesen, indem er mittelst derselben Stahlnadeln magnetisirte, die Magnetnadeln ablenkte und chemische Wirkungen hervorbrachte. In der neuesten Zeit hat man diese Untersuchungen mit Erfolg fortgesetzt, und Linari hat sogar durch Anwendung langer spiralförmiger oder selbst kurzer aber zusammengewundener Drähte Funken zu gewinnen gewußt, und mittelst eines empfindlichen Condensators Zeichen einer elektrischen Spannung erhalten. Faraday hat alle diese Wirkungen bestätiget gefunden, und überdieß noch durch diese Elektricität Drähte erhitzt. Der Strom, den ein Zitteraal liefert, geht seinen Erfahrungen zu Folge, immer vom Vordertheil des Thieres zum Hintertheil. (Davy in *London and Edinb. Journ. I.*; Humboldt in Pogg. Ann. 37. 239; Colladon ebend. 39. 411; Mateucci ebend. 39. 485; Faraday in Pogg. Ergänzbd. 1. 385. Beobachtungen über die elektrischen Wirkungen des Zitteraals von Schönbein. Basel 1841.)

197. Es sind nun alle Elektricitätsquellen untersucht, und die Gesetze, nach denen sie sich wirksam zeigen, näher erörtert worden. Schon ein oberflächlicher Ueberblick zeigt, daß Reibung, Berührung, Induction, Wärme und der Lebensprozeß die Hauptquellen seyen, daß man es daher im Allgemeinen mit der Reibungs- oder gemeinen, mit der Volta'schen-, der thierischen, der Magneto- und der Thermo-Elektricität zu thun habe. Alle diese befolgen aber dieselben Gesetze, zum Beweise, daß alle von derselben inneren Natur seyen. Insbesondere hat man von allen diesen physiologische Wirkungen, Ablen-

kung der Magnetnadel, Magnetisirung, Funken, Temperaturerhöhung und wahre elektro-chemische Wirkungen erfahren. Anziehung und Abstoßung sind zwar bei der speciell sogenannten, an guten Leitern sich zeigenden Thermo-Elektricität noch nicht angetroffen worden, allein dazu gehört eine elektrische Spannung, die bei einem so ungehinderten Strome, wie ihn ungleichförmig erwärmte Metalle liefern, nicht wohl vorkommen kann, und somit darf diese kleine Lücke keinen Grund abgeben, die Thermo-Elektricität von der durch die übrigen Quellen gelieferten zu sondern, und sie als besonderes Agens zu betrachten. Dabei ist aber die Existenz verschiedener elektrischen Ströme, analog den verschieden transmissionsfähigen Wärme- und den verschiedenfarbigen Lichtstrahlen (vergl. die folgenden Abschnitte) nichts weniger als unwahrscheinlich. Ueber das Wesen eines elektrischen Stromes selbst kann man nicht mehr mit Sicherheit behaupten, als daß er von einer Bewegung begleitet sey, wobei das Bewegliche die Lage des Gleichgewichtes nur wenig verläßt, und überhaupt als das Resultat der Molecularkräfte der Körper betrachtet werden könne. Die Annahme eines elektrischen Fluidums eigener Natur ist nur ein Mittel, den Verlauf der elektrischen Erscheinungen unserem Vorstellungsvermögen etwas näher zu bringen, und dürfte wohl außer diesem keinen objectiven Grund für sich haben. Die Phänomene des elektrischen Stromes überhaupt, seines Durchganges durch verschiedene Körper, und der nicht mehr zweifelhafte Widerstand, den er beim Uebergange von einem Mittel in ein anderes erfährt, sind der Annahme, daß der Elektricität Schwingungen eines eigenen Stoffes oder der kleinsten Körpertheile zum Grunde liegen, gar nicht ungünstig; eine Annahme, die ganz gewiß auch noch das für sich hat, daß sie die vier großen Mächte der physischen Welt, Licht, Wärme, Magnetismus und Elektricität, auf eine gemeinschaftliche Quelle zurückführt.

Interessant wäre es, die zu den verschiedenen Wirkungen elektrischer Ströme nöthigen relativen Intensitäts- und Quantitätsgrößen zu kennen, allein zu diesem Ende ist bis jetzt nur sehr wenig geschehen. Pouillet fand, daß die Intensität des Stromes einer Volta'schen Säule von 12 Plattenpaaren aus Zink und Kupfer 113924mal so groß ist, als die eines Wismuthkupferelementes, das durch eine Temperaturdifferenz von 1° angeregt wird, und durch einen 21 Meter langen Bogen 1 Millim. dicken Kupferdrahtes geht. Nach Poggendorff hielt der Strom einer magnetischen Rotationsmaschine bei acht Umläufen des Ankers in der Secunde drei Zinkkupferplatten einer Volta'schen Säule das Gleichgewicht. Nach Faraday braucht man zur Zersetzung von 1 Gran Wasser so viel Elektricität, daß man damit einen Platindraht von $^1/_{100}$ Z. Dicke in der Luft durch $3^1/_4$ M. roth glühend erhalten, oder daß man mit derselben eine Batterie laden könnte, die 800,000mal größer ist, als eine solche, die man durch 30 Umdrehungen einer sehr kräftigen Scheibenmaschine zu entwickeln vermag, und die demnach das größte Thier zu tödten im Stande wäre.

Ueber diesen Abschnitt siehe nebst den schon angeführten Werken: Franklin's Briefe von der Elektricität. Leipzig 1758. Versuche über die Elektricität von Adams. Wien 1786. L. Mahon's Grundsätze der Elektricität. Leipzig 1789. Donndorf's Lehre von der Elektricität.

Erfurt 1784. Practische Elektricitätslehre von Langenbucher. Augsburg 1788. Elemente der Elektricität und Elektrochemie von Singer. Breslau 1819. Grundzüge der reinen Elektricitätslehre von Leschan. Wien 826. A. Galvani's Abhandlung über die Kraft der thierischen Elektricität. Prag 1793. Volta's Schriften über die thierische Elektricität Prag 1793 und 1796. Volta's neueste Versuche über den Galvanismus. Wien 1803. A. Humboldt, über die gereizte Muskel- und Nervenfaser. Berlin 1797—99. Der Prozeß der galvanischen Kette von G F Pohl. Leipzig 1826. Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet von Ohm. Berlin 1827. *Saggio di esperienze electro-metriche del D. St. Marianini. Venezia* 1822. Maßbestimmungen über die galvanische Kette von G. Th. Fechner. Leipzig 1831. *Memorie ed osservationi dal cav. L. Nobili. Firenze.* 1834. *Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme etc. par M. Becquerel. Paris* 1834—1840. *Experimental Researches in Electricity. By M. Faraday, London* 1839. (Eine besondere Ausgabe der Abhandlungen dieses großen Physikers über die Elektricitätslehre. Sie finden sich vollständig in Pogg. Ann. Bd. 25, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 46, 47, 48, 51, 53 und Ergänzungsband 1.) Endlich bieten noch die Repertorien von Fechner, von Dove und das neue Gehler'sche Wörterbuch in den Artikeln Elektricität, Galvanismus, Leiter, Magnetoelektricität, Thermoelektricität u. a. vielfache Belehrung.

Dritter Abschnitt.

Licht.

Erstes Kapitel.

Erscheinungen des Lichtes überhaupt.

198. Wenn die Sonne unter dem Horizonte steht, Wolken die Gestirne verbergen und auch kein künstliches Licht vorhanden ist; so sind wir von der Sinnenwelt, mit der wir nicht unmittelbar durch Berührung in Verbindung stehen, völlig abgeschnitten. Das Licht, so nennen wir den objectiven Grund des Sehens, ist es also, durch welches wir Vorstellungen von entfernten Gegenständen bekommen und das uns den größten Theil der Schöpfung kennen lehrt. Doch dient es nicht bloß dazu, uns die Gegenstände sichtbar zu machen, sondern es vermag auch chemische Veränderungen hervorzurufen, greift in das organische Leben mächtig ein, und spielt daher auch in anderer Beziehung in dem Haushalte der Natur eine wichtige Rolle.

199. Die Quelle des Lichtes sind die selbstleuchtenden Körper. Diese sind nämlich an sich sichtbar, und bedürfen nicht, wie die dunklen, zu ihrer Sichtbarkeit der Gegenwart eines andern, der ihnen Licht zusendet. Selbstleuchtende Körper sind: die Sonne, die Fixsterne, vielleicht auch die Kometen, ferner die brennenden und phosphorescirenden Körper. Es ist bekannt, daß dunkle Körper selbstleuchtend werden können, daß Holz und manche andere Pflanzenstoffe erst leuchten, wenn sie faulen, eben so daß manche Körper durch Erwärmen, Stoßen, Reiben, Schlagen &c. Licht geben, und daß einige (die sogenannten Lichtsauger) erst leuchten, wenn sie einige Zeit lang dem Sonnenlichte ausgesetzt waren.

Faules Holz, todte Seefische, die Johanneswürmchen, die Johanneskäfer, der Surinamische Laternenträger &c. phosphoresciren von selbst; der Bologneser Leuchtstein (zerstoßener und durch Tragant zu Pasten geformter, gebrannter Schwerspath), verschiedene Kalksalze, besonders Schwefelkalk, auch Schwefelstrontian, Schwefelbaryt, Flußspath, arseniksaures Kali mit salpetersaurem Baryt geglüht, leuchten nach kurzer Bestrahlung durch Sonnenlicht, besonders wenn sie erwärmt werden; Diamanten leuchten beim Reiben mit Wolle, zwei Kiese geben beim Zusammenschlagen Funken und beim Reiben einen Lichtschein &c. (Heinrich über die Phosphorescenz. Nürnberg, 1811 — 1820;

Schweigg. J. 14. 135; Kast. Arch. 5. 88. Zeitschr. 2. 80; Pogg. Ann. 33. 405; Gehlers n. Wörterb., Artikel: Licht.)

200. Einige Körper sind vom Lichte durchdringlich, und solche hindern daher die Sichtbarkeit eines Gegenstandes nicht, wenn sie sich zwischen demselben und dem Auge befinden. Man nennt sie durchsichtig, wie z. B. Luft, Glas, Wasser. Andere lassen das Licht nicht hindurch und halten daher das von einem Objecte zum Auge gehende auf; sie werden undurchsichtig genannt. Kein Körper läßt alles auf ihn fallende Licht durch, und keiner ist daher absolut durchsichtig, und selbst der durchsichtigste wird in dicken Schichten undurchsichtig, gleichwie der undurchsichtigste in dünnen Schichten wenigstens durchscheinend ist.

201. Ein undurchsichtiger Körper hindert die Sichtbarkeit eines anderen nur dann, wenn er sich in den geraden Linien befindet, welche vom Auge zu den Puncten des zu sehenden Gegenstandes gehen. Daher erfolgt die Wirkung des Lichtes längs geraden Linien und jede solche Linie heißt ein Lichtstrahl. Ein leuchtender Punct sendet Lichtstrahlen nach allen Seiten aus, und ein dunkler, demselben gegenüberstehender Körper empfängt daher, wenn kein undurchsichtiger im Wege steht, einen Lichtkegel oder eine Lichtpyramide, deren Spitze im leuchtenden Puncte liegt, und deren Seitenfläche jenen Körper ringsum berührt.

202. Denkt man sich in einem verfinsterten Zimmer eine äußerst kleine Oeffnung an einem Fensterladen, die als Punct betrachtet werden kann, und nimmt man an, daß directes Sonnenlicht durch sie eindringe; so hat der von der Sonne kommende Lichtkegel seine Spitze an dieser Oeffnung, und von da an bildet sich im Zimmer ein zweiter umgekehrter Kegel. Wird dieser mit einer weißen Tafel aufgefangen, deren Ebene auf der Axe des Kegels senkrecht steht, so stellt sich der Durchschnitt beider als ein leuchtender Kreis dar, der gleichsam als ein Bild der Sonne betrachtet werden kann, das so vielmal linear verkleinert erscheint, als seine Entfernung von der Oeffnung in der Distanz der Sonne von derselben enthalten ist. Hat aber die Oeffnung am Fensterladen eine merkliche Ausdehnung, und ist sie z. B. kreisrund, so dringen unendlich viele solche Lichtkegel ein, und geben zusammen ein Sonnenbild, dessen Halbmesser um den der Oeffnung größer ist, als im vorigen Falle. Es ist offenbar in dem mittleren Theile stärker erleuchtet als am Rande, wo die Helligkeit rasch abnimmt. Stellt nämlich z. B. ST (Fig. 263) den Durchmesser der Sonne vor, HK den Durchmesser einer kreisrunden Oeffnung, MN eine weiße Tafel, auf welche das Sonnenlicht fällt; so darf man nur die geraden Linien SHA, SKB, THC, THD ziehen, um einzusehen, daß in den Raum zwischen B und C von allen Puncten, dagegen in die Randtheile AB, CD von um so wenigeren Puncten der Sonne Licht falle, je näher die betrachtete Stelle an A oder D liegt. Will man wissen, welches Stück der Sonne die Beleuchtung irgend eines Punctes, z. B. x in AD bewirkt, so darf man nur xHy, xKz ziehen; das Stück

der Sonne, welches innerhalb des Kegels yxz erscheint, ist das wirkende. Eine sehr kleine, von der Sonne beleuchtete Oeffnung in dem Fensterladen eines verfinsterten Zimmers vertritt bei Versuchen oft die Stelle eines leuchtenden Punctes; eine schmale Spalte daselbst die Stelle einer leuchtenden Linie.

203. Befinden sich außerhalb des verfinsterten Zimmers, der Oeffnung im Fensterladen gegenüber, hell beleuchtete Gegenstände, so zeigt sich auf der Wand im Zimmer oder auf einem der Oeffnung entgegengestellten weißen Schirme eine verkehrte Abbildung dieser Gegenstände mit ihren natürlichen Farben. Man nennt dieß den Versuch der dunklen Kammer (Camera obscura). Die Abbildung gewinnt an Schärfe, verliert aber an Helligkeit, wenn man die Oeffnung verkleinert, oder die Entfernung des Schirmes von der Oeffnung vergrößert, so daß nur einer gewissen Anordnung beider der beste Effect entspricht. Jeder Punct der beleuchteten Gegenstände sendet hier einen Strahlenkegel, dem die Eigenschaft inwohnt, in dem Auge den Eindruck einer bestimmten Farbe hervorzurufen, durch die Oeffnung; der Durchschnitt dieses Kegels mit der Fläche des Schirmes gibt das Bild jenes Punctes. Je mehr Licht auf einen bestimmten Theil des Schirmes fällt, desto heller ist das Bild; je weniger sich die Bilder der einzelnen Puncte decken, desto schärfer erscheint die Abbildung. Da diese bei schicklich gewählter Größe der Oeffnung und Distanz des Schirmes schon sehr befriedigend ausfällt, ohne daß jeder Punct im Gegenstande durch einen Punct im Bilde wieder gegeben wird, so ist für unser Auge eine gewisse Annäherung an die geometrische Schärfe schon hinreichend. Die Folge wird Mittel darbieten, die Schärfe des Bildes in der Camera obscura ohne Verlust an Helligkeit zur größten Vollkommenheit zu bringen.

204. Dunkle Stellen in einem beleuchteten Raume, von welchem das Licht durch einen undurchsichtigen Körper abgehalten wird, heißt man Schatten, gänzliche Abwesenheit des Lichtes nennt man Finsterniß, wiewohl man einen Raum oft schon für finster hält, wenn es ihm an der zum klaren Sehen nöthigen Erleuchtung fehlt. Hat der leuchtende Körper eine merkliche Ausdehnung, wie z. B. die Sonne, der Mond ꝛc.; so gibt es hinter einem undurchsichtigen Körper, der von jenem beleuchtet wird, außer dem Raume, in welchen gar kein Strahl unmittelbar gelangen kann, und den man Kernschatten nennt, auch noch einen solchen, der nur von einigen Puncten des leuchtenden Körpers unmittelbar Licht empfängt. Diesen nennt man Halbschatten. Im Allgemeinen erhalten nur jene Punkte des Halbschattens, welche gegen den leuchtenden und gegen den beleuchteten Körper einerlei Lage haben, Licht von gleicher Intensität, und dieses nimmt an jedem Querschnitte des Halbschattens gegen den Kernschatten hin durch alle Zwischenstufen ab. Beide Schatten gehen also stetig in einander über, so daß man ihre Grenze nie genau angeben kann. Ist z. B. AB (Fig. 264) eine leuchtende, CD eine beleuchtete Linie, so ist CED der Kernschatten, ECx und EDy sind Halbschatten.

Da der Schatten durch die Strahlen begrenzt wird, welche am äußersten Rande des beleuchteten Körpers vorbeifahren; so muß seine Gestalt, Lage und Größe von der Gestalt und Größe des leuchtenden und beleuchteten Körpers und von ihrer gegenseitigen Entfernung abhängen, übrigens für jeden gegebenen Fall mathematisch bestimmt werden können. Man ersieht hieraus zugleich, daß man von der Größe des Schattens auf die des beleuchtenden Körpers, ja sogar von der Bewegung des einen auf die Bewegung des andern einen Schluß machen, und daher den Schatten zur Bestimmung der Dimensionen oder Bewegung eines Gegenstandes benützen könne. (Silhouettiren, chinesisches Schattenspiel. Bestimmung der Höhe eines Baumes, Thurmes ꝛc. mittelst seiner Schattenlänge.) Der Schatten erscheint durch Contrast desto dunkler, je stärker der ihn umgrenzende Raum erleuchtet ist; daher verursacht das stärkste Licht den dunkelsten Schatten. Daß uns Nachts bei einem sparsamen Kerzenlichte die Schatten dunkler erscheinen, als bei Tage, wo das unendlichemal stärkere Sonnenlicht scheint, das kommt davon her, daß eigentlich am Tage fast kein Kernschatten vorhanden ist, indem der Schatten eines Körpers in den beleuchteten Raum eines anderen fällt.

205. Die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes findet nur so lange Statt, als es sich in demselben Mittel befindet; ändert es aber das Mittel, so erleidet es beim Uebergange im Allgemeinen eine Aenderung der Richtung und der Intensität. Es kehrt nämlich ein Theil eines an die Grenze zweier heterogenen Mittel gelangenden Lichtstrahles in das alte Mittel zurück und wird reflectirt, der andere dringt in das neue Mittel ein. Geht der auffallende Strahl schief gegen die Grenze der Mittel, so nimmt der reflectirte einen anderen Weg; auch der in das neue Mittel eindringende ändert seine Richtung, d. h. er wird gebrochen. Von der Reflexion des Lichtes überzeugt man sich am augenscheinlichsten, wenn man einen Kegel Sonnenstrahlen in ein dunkles Zimmer fallen läßt, und diesen mit einer Glasplatte oder einem gewöhnlichen Spiegel auffängt. Um die Brechung auf eine recht auffallende Weise wahrzunehmen, bedient man sich eines parallelepipedischen Kastens, wovon eine Seitenwand undurchsichtig, die übrigen durchsichtig sind. Läßt man auf die undurchsichtige Wand AB, Fig. 265 nach der Richtung SC Sonnenlicht fallen und beobachtet die Länge des Schattens BC auf dem Boden, gießt sodann Wasser in das Gefäß, und wiederholt die Beobachtung, so zeigt sich der Schatten BD bedeutend verkürzt; es hat also der Strahl SA im Wasser den Weg AD genommen.

Das reflectirte Licht ist es, durch welches dunkle Körper gleich den selbstleuchtenden sichtbar werden; nur mittelst desselben nimmt man das vorerwähnte Bild auf dem Schirme in der dunklen Kammer wahr; die in der Luft schwebenden Stäubchen zeigen, indem sie Licht nach allen Seiten reflectiren, den Weg, den ein in ein dunkles Zimmer eindringender Sonnenstrahl nimmt. Einen Lichtstrahl selbst kann man nicht sehen, man sieht nur mittelst desselben.

206. Durch die Reflexion und Brechung des Lichtes können Strahlen, die von einem leuchtenden Puncte herkommen, in neue Richtungen, jedoch so gebracht werden, daß diese sich entweder vorwärts

oder rückwärts verlängert genau oder wenigstens sehr nahe in einem Puncte durchschneiden. Dem Auge erscheint daselbst das Bild des leuchtenden Punctes, weil es denselben Eindruck erfährt, als gingen die Strahlen ursprünglich von letzterem Puncte aus. Empfängt das Auge die sich in einem Puncte durchkreuzenden reflectirten oder gebrochenen Strahlen nach der Durchkreuzung, so sieht es ein reelles oder ein Luftbild; scheinen nur die Strahlen von einem Puncte herzukommen, indem sich ihre Richtungen rückwärts genommen in einem Puncte begegnen, so findet bloß ein imaginäres Bild Statt. Auf gleiche Weise können Bilder von leuchtenden Gegenständen entstehen, denn jedes solche ist nur der Inbegriff der Bilder aller einzelnen Puncte. Diese Bilder haben desto mehr Klarheit (Helligkeit), je mehrere Strahlen zur Entstehung des Bildes jedes einzelnen Punctes beitragen und ins Auge gelangen, und desto mehr Deutlichkeit, in einem je engeren Raume sich die von einem Puncte des Objectes ausgehenden Strahlen wieder vereinigen. Treffen sie genau in einem Puncte zusammen, so hat das Bild von dieser Seite die größte Deutlichkeit.

207. Das Licht, welches an der Grenze zweier Mittel gleichsam umkehrt und ins alte Mittel zurückgeht, ist entweder zerstreutes oder regelmäßig reflectirtes Licht. Durch ersteres wird uns der Körper, an dessen Grenze die Zerstreuung erfolgt, selbst sichtbar, als wäre er ein leuchtender, durch das letztere sehen wir ein Bild desjenigen, der das Licht auf jenen Körper sendet. Eine Reflexion tritt, besondere erst in der Folge anzugebende Fälle abgerechnet, jedesmal ein, wenn ein Lichtstrahl an die Grenze zweier optisch ungleichartigen Mittel gelangt; ob aber eine regelmäßige Reflexion oder eine Zerstreuung des Lichtes Statt findet, das hängt bloß von der Rauheit und Glätte der vom Lichte getroffenen Fläche ab. Dieses sieht man daraus, daß jeder Körper, der im rauhen und unpolirten Zustande bloß selbst sichtbar ist, alsogleich statt seiner das Bild desjenigen gibt, von dem das Licht auf ihn fällt, wenn seine Oberfläche polirt wurde. Körper, die durch reflectirtes Licht die Bilder der Gegenstände zeigen, von denen sie beleuchtet werden, heißen Spiegel. Sie müssen offenbar die auffallenden Strahlen in derselben Ordnung reflectiren, in welcher sie auffielen; denn sonst könnte keine Empfindung in unserem Auge entstehen, als käme das Licht gerade vom leuchtenden Gegenstande her.

Ein vollkommener Spiegel kann nur das Bild der ihn beleuchtenden Gegenstände, aber nicht sein eigenes zeigen; allein es gibt in der Natur keinen solchen Spiegel. Schon die kleinsten Rauheiten der spiegelnden Fläche benehmen ihr einen Theil ihres Spiegelglanzes. Wird auf einen Metallspiegel eine Figur gezeichnet, hierauf die Zeichnung weggeschliffen und die Spiegelfläche wieder so weit hergestellt, daß man bei gewöhnlicher Beleuchtung keine Spur der Zeichnung bemerkt, so erscheint dieselbe doch auf einer Wand, wohin man starkes, vom Spiegel reflectirtes Licht gelangen läßt (Pogg. Ann. 27. 485.). Am besten spiegeln: Ruhig stehende Flüssigkeiten, weiße wohl polirte Metallplatten (aus Platin oder aus einer Mischung von Kupfer, Silber und

Zinn) minder gut, aber doch zu manchen Zwecken hinreichend, wohl polirte, auf einer Seite geschwärzte Glasplatten oder gar Platten aus schwarzem Glase, die nur auf einer Seite polirt sind. Diesen stehen unsere gewöhnlichen Spiegel aus Glas, wovon eine Seite mit Zinnamalgam überzogen ist, weit nach, weil sie mehrere Bilder machen, die sich zum Theil decken; meistens erkennt man deren zwei (am besten von einer brennenden Kerze), wovon eines an der vorderen, das andere an der hinteren Glasfläche gebildet wird. In manchem Spiegel bemerkt man vier bis fünf und mehr solche Bilder.

208. Untersucht man das im Inneren eines durchsichtigen Körpers, z. B. Wasser, Glas ꝛc. fortschreitende gebrochene Sonnenlicht genau (vergl. den in 205 angegebenen Versuch), so findet man daß sich das Licht bei der Brechung in einen Bündel farbiger Strahlen theilt. Am besten nimmt man diese Erscheinung an einem Körper wahr, der das Licht bei der Brechung sehr bedeutend von seiner Richtung ablenkt. Dazu eignet sich ganz vorzüglich ein dreiseitiges Prisma aus reinem Glase mit eben geschliffenen wohl polirten Flächen. Läßt man zu diesem Ende durch eine Oeffnung am Fensterladen in ein dunkles Zimmer einen Sonnenstrahl Sx Fig. 266 fallen, und stellt diesem ein solches Prisma ABC, dessen Kante B z. B. horizontal liege und abwärts gekehrt sey, in den Weg, so wird das Licht von seinem Wege nach oben hin abgelenkt, es geht der die Fläche AB in D treffende Lichtstrahl nach E und er tritt bei F nach der Richtung Fy durch die Fläche BC aus dem Prisma in die Luft, aber statt des vorhin auf einem senkrecht gegen den Strahl gehaltenen Schirme wahrnehmbaren kreisrunden Sonnenbildes erscheint jetzt ein längliches oben und unten abgerundetes, seitwärts von parallelen geraden Linien begrenztes Bild, **Farbenbild**, **Spectrum**, dessen Breite dem Durchmesser des vom ungebrochenen Licht erzeugten Sonnenbildes gleichkommt, dessen Länge aber von dem Winkel des Strahles mit der Fläche des Prisma's, durch welche er eintritt, von dem Winkel der Ein- und Austrittsfläche am Prisma selbst, dem **brechenden Winkel** (der, wenn die Erscheinung sich recht schön zeigen soll, bei Glas nicht unter 45° betragen mag) und von der brechenden Substanz des Prisma's abhängt. In diesem Bilde zeigt sich, wenn man es seiner Länge nach betrachtet, in jedem Querschnitte eine andere Farbenabstufung, welche sich in die daran grenzenden Farben allmälig verläuft. Der unterste Theil des Spectrums ist dunkelroth, von da an aufwärts findet man es heller roth, und allmälig durch eine Orangefarbe ins Gelbe übergehend. Dieses wird nach oben zu immer mehr grünlich, endlich ganz grün. Die grüne Farbe nimmt weiter oben eine Beimischung von Blau an, und zieht sich gänzlich ins Lichtblaue hinüber, welches immer tiefer blau werdend, durch das Indigoblau ins dunkelste Violett sich verliert, womit das Farbenbild sich endigt. Ist der brechende Winkel des Prisma's aufwärts gekehrt, so ist die Ordnung der Farben im Spectrum, das durch einen von unten nach oben hin zum Prisma geleiteten Sonnenstrahl erzeugt wird, die umgekehrte. Die Intensität des Lichtes ist an verschiedenen Stellen des Farbenbildes sehr verschieden, und im gel-

ben Theile größer, als im grünen und rothen, und in diesem wieder größer als im blauen und violetten. Nach obiger Beschreibung sind daher in dem Spectrum sechs Hauptfarben bemerkbar, nämlich die rothe, orange, gelbe, grüne, blaue und violette. Newton jedoch, dem wir die Untersuchung dieser Erscheinung vorzüglich verdanken, fand sich bewogen, um zwischen den Farben im Sonnenbilde und den sieben Tönen einer Octave eine Aehnlichkeit herauszubringen, sieben verschiedene Farben im Spectrum anzunehmen, und zwar die rothe, orange, gelbe, grüne, blaue, indigoblaue und violette.

209. Aus dieser Erscheinung folgt unmittelbar: 1) Daß das so eben besprochene Spectrum durch Licht von verschiedener Brechbarkeit gebildet werde, indem offenbar die Strahlen bei r, dem rothen Anfang des Spectrums, viel weniger gebrochen werden als die bei v, dem violetten Ende. 2) Daß die Strahlen, deren Brechbarkeit verschieden ist, in uns die Empfindung verschiedener Farben erregen. Um diese Folgerung ganz sicher zu stellen, ließ Newton das Farbenbild, welches durch ein horizontal gehaltenes Prisma gebildet wurde, neuerdings auf ein vertical stehendes fallen. Waren die aufgestellten Sätze richtig, so mußte das neue Sonnenbild dasselbe Farbenspiel zeigen wie das erste, und wenn dieses vertical stand, wie rv in Fig. 267, und in r das rothe und in v das violette Ende hatte, so mußte jenes schief stehen wie r′v′, und in r′ roth, in v′ violett erscheinen. Die Erfahrung entsprach dieser Voraussetzung auf das Genaueste, und bestätigte daher die Wahrheit obiger Sätze unwidersprechlich. Läßt man das Farbenbild auf eine Tafel A (Fig. 268) auffallen, die eine kleine Oeffnung hat, so wird der auf die Oeffnung fallende Theil des Farbenbildes durchgehen. Fängt man einen solchen Strahl mit einem zweiten Prisma B auf, so wird er wohl gebrochen und zwar desto mehr, je weiter er im Farbenbilde vom rothen Strahle absteht und sich dem violetten nähert, er erscheint aber mit derselben Farbe, wie vor der zweiten Brechung. Man kann dieses als einen ferneren Beweis für die vorhin angeführte Folgerung ansehen, und zugleich daraus die neue Wahrheit ableiten, daß ein Lichtstrahl des Spectrums, welcher die Eigenschaft hat, die Empfindung einer bestimmten Farbe zu erregen, diese Eigenschaft durch Brechung nicht verliere.

Im Lichte, das gefärbte Körper reflectiren, zeigt sich derselbe Zusammenhang zwischen Erregung einer bestimmten Farbenempfindung und dem Grade der Brechbarkeit, wie beim directen Sonnenlichte. Man überzeugt sich davon sehr leicht, wenn man auf eine weiße Tafel zwischen zwei parallelen Linien neben einander zwei Rechtecke malt, wovon z. B. eines roth, das andere grün ist. Sieht man sie mit einem dreiseitigen Prisma an, dessen brechender Winkel aufwärts gekehrt ist, so erscheint das grüne höher als das rothe, zum Beweise, daß die von jenem ausfahrenden Strahlen mehr als die von diesem kommenden gebrochen werden.

210. Obwohl das Phänomen des Spectrums die zusammengesetzte Natur des Sonnenlichtes hinreichend beweiset, so wird man doch

noch mehr befriediget, wenn man durch Vereinigung der farbigen Strahlen, welche das Spectrum darbietet, farbloses Licht entstehen sieht. Dieß bewirkt man, indem man das Prisma in eine rasche oscillirende Bewegung versetzt und dadurch das Spectrum auf dem Schirme schnell hin- und hergehen macht; da zeigt sich ein weißer Lichtstreif, der nur oben und unten etwas farbig erscheint. Hier empfängt das Auge von jedem Puncte des Schirmes schnell hinter einander Eindrücke von allen Farben des Spectrums, und da ein Eindruck den andern überdauert, so empfindet es dasselbe, als wenn unzerlegtes Sonnenlicht auf den Schirm fiele. Man kann aber auch die farbigen Strahlen durch ein Sammelglas zur Vereinigung bringen, und erhält denselben Erfolg.

211. Die Anzahl der verschieden brechbaren Strahlen, aus denen der unzerlegte Sonnenstrahl besteht, ist nicht angebbar; man kann sie als unendlich groß betrachten. Enthielte das Sonnenlicht nur eine geringe Anzahl solcher Strahlen, so könnte das Farbenbild nicht mit parallelen Seitenwänden erscheinen, es würden sich die runden Bilder, die jeder einfache Strahl gibt, wohl zum Theile decken, müßten aber immer ein Farbenbild geben, an dessen Seiten man die kreisförmig gebogenen Einschnitte bemerken könnte, wie in Fig. 269. Diejenigen, welche behaupten, ein unzerlegter Sonnenstrahl bestehe aus sieben Strahlen von verschiedener Brechbarkeit, können darunter nur solche verstehen, die in uns die Empfindung wesentlich verschiedener Farben erregen. Allein selbst jene Strahlen, die im Allgemeinen nur eine Farbenempfindung erzeugen, bestehen aus verschieden brechbaren Theilen, weil immer ein Theil der Eintrittsfläche des Lichtes am Prisma von größerer Breite von dem zu zerlegenden Lichte getroffen wird, mithin jeder der Kante des brechenden Winkels parallele unendlich schmale Streifen der Eintrittsfläche sein eigenes Spectrum liefert, und alle diese Spectra sich theilweise decken.

212. Um sich den Anblick eines Farbenbildes zu verschaffen, bei welchem diese Mengung ungleichartigen Lichtes nicht Statt hat, lasse man das durch eine enge Spalte geleitete Licht auf ein gutes Prisma, dessen brechende Kante der Spalte parallel ist, in solcher Entfernung fallen, daß man die Spalte als eine leuchtende Linie betrachten darf, die sehr wenig divergirende Strahlen auf das Prisma sendet. Nach der Brechung durch das Prisma haben Strahlen von gleicher Brechbarkeit solche Richtungen, als würden sie von einer und derselben leuchtenden Linie direct ausgesendet; Strahlen von verschiedener Art aber scheinen von verschiedenen einander parallelen Linien auszugehen. Nimmt man nun diese Strahlen mit dem Auge auf, und gibt man dem Prisma durch Drehung um seine Axe eine solche Stellung, daß die Linien, von welchen die Strahlen herzukommen scheinen, in die Sehweite des Auges fallen, so muß man offenbar eben so viele Bilder der Spalte sehen, als Lichtsorten von verschiedener Brechbarkeit vorhanden sind. Gibt es deren im Sonnenlichte eine unendliche Anzahl von allen innerhalb gewisser Grenzen liegenden Graden der Brechbarkeit, so wird man auch eine stetige Folge von Lichtlinien (Spaltenbil-

dern) wahrnehmen, welche zusammen ein Farbenbild darstellen, worin aber jeder mit der Richtung der Spalte parallelen Linie gleichartiges Licht entspricht. Enthält dagegen das Sonnenlicht innerhalb der Grenzen seines Farbenbildes nicht Strahlen von jedem Grade der Brechbarkeit, sondern fehlen Strahlen von gewissen Farbenabstufungen im Farbenbilde, so muß sich an jeder Stelle, welche fehlenden Strahlen correspondirt, eine Lücke zeigen, die, je nachdem nur einzelne getrennte Strahlengattungen, oder ganze Reihen von unmittelbar an einander grenzenden Strahlen mangeln, als eine dunkle Linie oder als ein dunkler Streifen von meßbarer Breite wahrgenommen wird. Dieß ist, wie Fraunhofer auf dem so eben angedeuteten Wege entdeckt hat, bei dem Sonnenlichte wirklich der Fall. Man erblickt in dem Spectrum, zumal wenn man dem Auge durch ein gutes Fernrohr zu Hülfe kommt, unzählige starke und schwache Linien, die dunkler sind, als der übrige Theil des Farbenbildes, einige davon sind sogar völlig schwarz. Diese Linien sind immer und zwar in derselben Ordnung vorhanden, aus was immer für einer Materie das Prisma besteht, und was es für einen brechenden Winkel hat, nur nimmt ihre Stärke und ihre erkennbare Menge im Verhältnisse mit der durch den brechenden Winkel des Prisma's und die Vergrößerung, welche das Fernrohr gestattet, bedingten Größe des Farbenbildes ab und zu. Mit bloßem Auge sind nur die vorzüglichsten derselben deutlich zu erkennen.

Um den Fraunhofer'schen Versuch zu machen, stellt man in einem verfinsterten Zimmer ein Prisma mit vollkommen ebenen Wänden vertical vor das Objectivglas (d. i. vor jenes, welches man gegen das Object kehrt) eines guten Fernrohres, und läßt durch eine schmale aber hohe Oeffnung Sonnenlicht auf dasselbe fallen, bei einer solchen Anordnung des Fernrohres, daß man ohne Prisma die Oeffnung deutlich sieht, und einer solchen Stellung des Prisma's, daß die Strahlen es unter demselben Winkel verlassen, unter dem sie auffallen. Diese Stellung findet man leicht dadurch, daß sie zugleich diejenige ist, in der die größte Ablenkung des Lichtes durch das Prisma Statt hat. Bei der Betrachtung des Farbenbildes mit bloßem Auge muß aber das Prisma eine andere Stellung, nämlich diejenige erhalten, in welcher das Bild in die Sehweite des Auges fällt, die man durch Drehen des Prismas leicht ausmittelt.

Um sich in dem Farbenbilde des Sonnenlichtes, vorzüglich für Zwecke der practischen Optik, mit Leichtigkeit orientiren zu können, hat Fraunhofer die an den merkwürdigsten Stellen befindlichen Linien vom rothen gegen das violette Ende hin mit den Buchstaben A, B, C ɾc. bis I bezeichnet. A (Fig 270) ist eine scharf begrenzte Linie nahe am Anfange des Spectrums im dunklen Roth B und C sind scharfe schwarze Linien von merklicher Dicke im lichtern Roth. Zwischen A und B befindet sich ein Bündel a feiner Linien, die gleichsam einen Streifen bilden. D ist eine Doppellinie an der Uebergangsstelle von Orange in Gelb, E ist eine Gruppe feiner Linien im Grün, F eine starke Linie im Blau. Zwischen E und F, nahe bei E, erblickt man drei sehr starke Linien b, die zu den ausgezeichnetsten im Farbenbilde gehören. G ist eine Gruppe feiner Linien im tief Indigblau. Bei H im Violett steht ein merkwürdiger aus vielen feinen Linien und einer starken Mittellinie gebildeter Streifen, und nahe dabei ein zweiter ähnlicher. Fraun-

hofer zählte von B bis H ungefähr 574 Linien. Brewster dagegen hat das Sonnenspectrum in mehr als 2000 deutlich wahrnehmbare Theile getheilt, worin sich dunkle Linien befinden. (Pogg. Ann. 38. 58.)

213. Es ist klar, daß man durch die Mittel, durch welche das Sonnenlicht zerlegt wird, auch das Licht anderer leuchtenden Körper analysiren kann. Fast alle geben ein Spectrum mit mehreren Farben, doch gibt es einige, die unmittelbar homogenes Licht aussenden. Läßt man das Licht eines brennenden Körpers, welches durch ein Prisma analysirt keine dunklen Linien im Farbenbilde zeigt, durch ein passendes farbiges Mittel gehen, bevor es auf das Prisma gelangt, so erscheinen dunkle Linien im Spectrum, und es ändert sich mit der Natur jenes Körpers und des farbigen Mittels die Anzahl, Lage und Beschaffenheit der dunklen Linien, oft bleiben ganze Farbenpartien aus.

Das Licht einer Flamme von sehr stark verdünntem Weingeiste ist nach Brewster ganz homogen gelb, und in allen Farbenbildern, die unvollkommen verbrennende Körper liefern, hat das gelbe Licht die Oberhand. Phosphor gibt mit Salpeter verbrannt ein Farbenbild, worin keine Farbe vorherrscht und keine durch dunkle Linien unterbrochen ist. Diesem ähnlich sind die Farbenbilder, welche glühender Kalk, Platin mehrere andere feste Körper geben. Schwefel gibt beim lebhaften Verbrennen fast lauter homogenes gelbes Licht; sobald aber die Heftigkeit des Verbrennens nachläßt, erscheinen im Farbenbilde blaue und grüne Streifen. Wird er mit Salpeter gemischt und angezündet, so gibt er ein Farbenbild, mit einer merkwürdigen rothen Linie, die außer der rothen Grenze des Spectrums liegt, und davon durch einen dunklen Zwischenraum getrennt ist. Ihr Licht ist weniger brechbar, als der am wenigsten brechbare Theil des Sonnenlichtes. Sie scheint vom Kali herzurühren und allen Kalisalzen zuzukommen, gleichwie die Natronsalze einen gelben Streifen, gleich dem Lichte im Spectrum des Schwefels erzeugen. Brennendes Cyan gibt ein aus mehreren, beinahe gleich breiten, intensiven, durch dunkle Linien von einander getrennten Streifen bestehendes Spectrum; salpetersaurer Strontian zeigt ein Spectrum mit mehreren Unterbrechungen der Continuität und einer hellglänzenden, dunkelblauen, isolirten Linie. Im Farbenbilde vom gewöhnlichen Flammenlichte, das durch eine enge Spalte ging, zeigt sich zwischen Roth und Gelb ein lichter Streifen, der augenscheinlich von einem Ueberschusse homogenen gelben Lichtes herrührt, das von der Flamme ausgesendet wird, wodurch ein hervorstechendes gelbes Spaltenbild entsteht; ein ähnlicher nur minder scharf begrenzter Streifen wird im Grün wahrgenommen. Im Lichte des Sirius zeigen sich drei breite Streifen, wovon einer im Grün, zwei im Blau sind. Castor gibt ein Farbenbild wie Sirius, Pollux gibt viele schwache, fixe Linien, noch mehrere Beteigeuze, Procyon aber sehr wenig. Das Licht des Mars und der Venus hat viele Aehnlichkeit mit dem Sonnenlichte. Der elektrische Funke zeigt ein Farbenbild aus vielen hellen Linien, und Wheatstone überzeugte sich, daß diese Linien verschieden sind, je nach der Natur des Metalles, aus welchem der Funke gezogen wurde; das Medium hat keinen Einfluß darauf, und das elektrische Licht ist von jenem des verbrennenden Metalles wesentlich verschieden. (Pogg. Ann. 36. 148.)

214. Die Wirkung des Lichtes beruht auf einer von den leuchtenden Körpern ausgehenden Bewegung. Römer entdeckte um das

Jahr 1675 zu Paris durch astronomische Beobachtungen, daß die Fortpflanzung des Sonnenlichtes nicht augenblicklich erfolge, sondern daß es in 1 Sec. ungefähr 42,000 Meilen zurücklege. Man weiß nämlich, daß der Planet Jupiter 4 kleine, unserm Monde ähnliche Begleiter (Trabanten) habe, von denen der ihm nächste in etwa 42 Stunden einen Umlauf macht, und jedesmal in den Schatten des Planeten tritt, mithin verfinstert wird. Das Zeitintervall, welches vom Anfange einer solchen Verfinsterung bis zum Anfange der nächsten verfließt, und eben so jenes, welches die Enden zweier unmittelbar auf einander folgenden Verfinsterungen trennt, nimmt fortwährend ab, wenn sich die Erde in ihrer jährlichen Bewegung dem Jupiter nähert, und wächst hingegen, wenn sich die Erde vom Jupiter entfernt. Diese Abweichung der Bewegung des Trabanten von der Regelmäßigkeit des Umlaufes um den Jupiter ist nur scheinbar, und läßt sich aus der Annahme vollkommen genügend erklären, daß das auf den Trabanten fallende Sonnenlicht in dem Verhältnisse weniger oder mehr Zeit brauche, um von diesem zur Erde zu gelangen, als die Erde ihm näher oder von ihm entfernter steht. Die Summe der Beschleunigungen der Finsternisse während die Erde von dem größten Abstande vom Jupiter bis zum kleinsten fortschreitet, entspricht einem Zeitintervall von mehr als 16 Minuten, d. h. um diesen Zeitbetrag würde man die letzte Verfinsterung später wahrgenommen haben, wenn die Erde stets in der größten Entfernung vom Jupiter geblieben wäre; dieser Zeit bedarf also das Licht, um den Durchmesser der Erdbahn zu durchlaufen, woraus die oben angegebene Geschwindigkeit desselben folgt. (*Roemeri Basis Astronomiae. Havniae* 1735. *p.* 121. Littrow's Wunder des Himmels. Stuttgart 1837. S. 112.)

215. Die successive Fortpflanzung des Lichtes beweiset, daß demselben ein materielles Princip zum Grunde liege. Die große Geschwindigkeit des Lichtes läßt vermuthen, daß das Licht nicht in einem von den leuchtenden Körpern aus sich fortbewegenden Stoffe bestehe, sondern vielmehr auf der durch Vermittlung eines elastischen Mediums bewirkten Fortpflanzung eines Bewegungszustandes der leuchtenden Körper beruhe. Diese Ansicht hat man schon längst gehabt; Huyghen's sprach dieselbe zuerst in einer genügenden Form aus, und Euler verfocht diese Meinung in seinen berühmten Abhandlungen; allein einerseits waren damals die Thatsachen, auf welche sich die schlagendsten Beweise für die Nothwendigkeit dieser Erklärungsweise der Erscheinungen des Lichtes stützen, nicht bekannt, oder doch nicht auf die gehörige Weise untersucht; andererseits aber war die Theorie der schwingenden Bewegung noch zu wenig ausgebildet, um als eine haltbare Basis für die Erklärungen dienen zu können. Erst in unseren Tagen haben die Bemühungen eines Young, Fresnel, Fraunhofer, Herschel, Cauchy, Neumann, Airy, Hamilton u. a. diese Lücken ausgefüllt, und es ist dadurch eine physikalische Theorie des Lichtes, die sogenannte Undulationstheorie, zu Stande gekommen, welche jetzt den anderen Partien der Naturlehre als Muster der

Evidenz dienen kann. Dieser erfreuliche Zustand der Wissenschaft gestattet nun sogleich die genannte Theorie unseren ferneren Betrachtungen an die Spitze zu stellen, und aus ihr die sämmtlichen bis jetzt bekannten Erscheinungen des Lichtes in systematischem Zusammenhange abzuleiten.

216. Die **Undulationstheorie** postulirt die Existenz eines eigenen, den Weltraum und das Innere der Körper erfüllenden Stoffes, welcher durch das Wort **Aether** bezeichnet wird, und die materielle Grundlage der Erscheinungen des Lichtes ausmacht. Die Theilchen desselben wirken auf einander abstoßend, vielleicht zugleich auch anziehend, und werden durch ähnliche Kräfte auch von den Theilchen der Körper afficirt, welche Kräfte sämmtlich von der Art der Molecularkräfte sind, unter deren Einfluß die Aethertheilchen, wenn keine Lichterscheinung vor sich geht, in dem Zustande des stabilen Gleichgewichtes stehen. Die selbstleuchtenden Körper befinden sich in schwingender Bewegung, durch welche das Gleichgewicht des angrenzenden Aethers gestört, und dieser in fortschreitende Schwingungen versetzt wird, die, wenn sie bis zu unserem Auge vordringen, dem in diesem Organ enthaltenen Aether mitgetheilt werden, dessen Einwirkung auf den Sehnerv die Empfindung des Sehens zur Folge hat. Hiernach beruht die Fortpflanzung des Lichtes auf der fortschreitenden Wellenbewegung des Aethers; die Gesetze derselben sind in jenen enthalten, welche den Principien der Mechanik gemäß aus den erwähnten Voraussetzungen über die Kräfte, unter deren Herrschaft die Aethertheilchen stehen, sich ergeben, und die Qualitäten eines Lichtstrahles müssen in räumlichen und quantitativen Bestimmungen der Elemente dieser Bewegung ihre Wurzel finden.

Der Einwurf, den man früher der Zuläßigkeit der Undulationshypothese entgegensetzte, daß ihr gemäß kein Schatten möglich wäre, da, so wie man einen schallenden Körper hinter einer Wand hört, man auch einen leuchtenden Körper sehen müßte, wenn sich zwischen ihm und dem Auge undurchsichtige Körper befinden, beruht auf einem Mißverständnisse, und wird durch die Art, auf welche die Undulationstheorie den Hergang der Beugung des Lichtes erklärt (s. das folgende Kapitel), vollständig gehoben. Ein anderer Einwurf, der den Widerstand hervorhebt, welchen die Himmelskörper in dem Aether erfahren müßten, wenn dieser wirklich existirte, während ihre Bewegung so regelmäßig vor sich geht, wie es nur in einem leeren Raume geschehen kann, dürfte in den Augen desjenigen von keinem bedeutenden Gewichte seyn, der weiß, mit welcher Leichtigkeit sich ein Körper in einem Fluidum zu bewegen vermag, das ungemein fein ist, und durch die kleinsten Zwischenräume ungehindert geht. Aber auch dieses geringe Gewicht hat er verloren, seitdem man an dem von **Encke** berechneten Kometen wirklich eine Retardation bemerkt hat, die auf ein widerstehendes Mittel zu schließen erlaubt. Daß dieses die Bewegung der Planeten nicht merklich verzögert, kommt auf Rechnung der viel größeren Dichte derselben.

Seit **Newton**, bis zur neuesten Zeit, herrschte unter den Physikern die Ansicht, das Licht sey eine eigene, aus äußerst feinen Theilchen bestehende Materie, die von den leuchtenden Körpern ausströmt, von

den beleuchteten reflectirt wird, und in das Auge gelangend die Empfindung des Sehens hervorbringt. Man bezeichnet diese Ansicht mit der Benennung Emanationssystem. Die Unhaltbarkeit derselben wird bei der näheren Entwicklung der Gesetze, an welche das Licht gebunden ist, schlagend hervortreten.

217. In der Undulationstheorie der Lichtphänomene finden die am Ende des ersten Theiles dieses Buches (352—359) vorgetragenen Lehren über die fortschreitenden Schwingungen elastischer Medien ihre vollste Anwendung. Der freie, d. h. nicht im Inneren eines wägbaren Körpers enthaltene Aether wird (da kein Grund vorliegt, etwas Anderes zu denken), als ein nach allen Richtungen gleich elastisches Medium betrachtet; der in den Zwischenräumen der Körper befindliche Aether aber nimmt an der Anordnung der Molekel selbst Antheil in Folge der Einwirkungen, die er von diesen erfährt. Ist die Substanz eines Körpers unkrystallinisch, oder nach dem tessularen Systeme krystallisirt, so besitzt der Aether ebenfalls nach allen Richtungen einerlei Elasticität; in den übrigen krystallisirten Stoffen aber ändert sich die Elasticität bei dem Uebergange von einer Richtung zur andern. Die Theilchen des Aethers in einem Körper sind in allen diesen Fällen entweder so geordnet, daß eine partielle Erschütterung des Aethers fortgepflanzt werden kann, oder sie haben keine solche Anordnung. Je nachdem das erstere oder das letztere Statt findet, ist der Körper durchsichtig oder undurchsichtig. In einem nach allen Richtungen gleich elastischen Medium hat eine örtliche Störung des Gleichgewichtes (wenn überhaupt eine Wellenbewegung daselbst möglich ist) die Bildung zweier Wellen zur Folge, einer, worin die Theilchen transversal, einer anderen, worin sie longitudinal schwingen. In der Lichtlehre kommt jedoch bloß eine dieser Wellen in Betrachtung, und zwar, wie in der Folge bewiesen wird, die mit transversalen Schwingungen versehene: sey es, daß longitudinale Vibrationen im Aether wegen des großen Widerstandes, den er jeder Aenderung seiner Dichte entgegensetzt, ganz unmerklich sind, oder daß sie auf unser Auge nicht den Eindruck des Lichtes machen. In krystallinischen Medien stellen sich zwei mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortschreitende Wellen transversaler und zwar polarisirter Schwingungen ein; Schwingungen in unregelmäßigen Bahnen können nur in dem nach allen Richtungen gleich elastischen Aether fortgepflanzt werden. Das Licht, welches auf Schwingungen letzterer Art beruht, heißt gemeines Licht, zum Unterschiede von dem polarisirten, das wieder nach Beschaffenheit der Bahnen der schwingenden Aethertheilchen entweder geradlinig oder circular oder elliptisch polarisirtes Licht ist. Wie diese Unterschiede sich in der Wahrnehmung durch das Auge charakterisiren, kann erst in der Folge erklärt werden. Ein anderer Unterschied des Lichtes ist aber gleich vom Beginne der Untersuchung festzuhalten, nämlich jener des einfachen und des zusammengesetzten Lichtes. Ersteres ist jenes, das durch das Prisma nicht weiter zerlegt wird. Man setzt in der Undulationstheorie voraus, und die Uebereinstimmung der Erfah-

rung mit der Theorie rechtfertiget diese Voraussetzung, daß das einfache Licht auf einfachen Schwingungen beruhe, deren Componenten den in I. 358 aufgestellten Gesetzen gehorchen. Die Farbe des Lichtes hängt von der Schwingungsdauer ab; die Intensität des Lichtes wird offenbar durch die Schwingungsweite oder durch die dieser proportionirte Schwingungsintensität bestimmt. Um den Erscheinungen zu genügen, muß man die Intensität des Lichtes dem Quadrate der Schwingungsweite oder der Schwingungsintensität proportional annehmen.

218. Der Schlüssel zu allen Erklärungen der Lichterscheinungen liegt in dem Principe der Interferenz, d. i. in der Zusammensetzung und Zerlegung der Schwingungen. Jeder Punct einer Lichtwelle wird als Mittelpunct neuer Schwingungen betrachtet, und die Welle in einer durch ihr Fortschreiten herbeigeführten folgenden Position ist das Resultat der Interferenz aller von den Puncten der vorhergehenden herrührenden Elementarwellen. Hiebei ist jedoch wohl zu merken, daß es in der Lichtlehre nicht auf die Betrachtung des Erfolges einer einzigen oder nur einiger wenigen, durch eben so viele ursprüngliche Bewegungen des leuchtenden Körpers erzeugten Erschütterungen des Aethers ankommt, sondern jederzeit vorausgesetzt wird, der leuchtende Körper vollbringe eine große Anzahl Vibrationen, so daß Welle auf Welle folgt, mithin jede Welle in ihrer Position als etwas in seinem Schwingungszustande Fortbestehendes angenommen werden darf. Die ungeheure, aus den folgenden Untersuchungen sich ergebende Schnelligkeit der Lichtvibrationen bringt es mit sich, daß in jeder für uns merkbaren noch so kurzen Zeit sehr viele Schwingungen vor sich gehen, und stellt somit die Zulässigkeit gedachter Annahme über jeden Zweifel. Werden nun in dem nämlichen Augenblicke auf ein und dasselbe Aetherth eilchen verschiedene Phasen einer bestimmten Bewegungsform übertragen, so entspringt daraus im Allgemeinen eine zusammengesetzte Bewegung; in speciellen Fällen aber, wenn nämlich die interferirenden Bewegungen gleiche Intensitäten, entgegengesetzte Richtungen haben, und sich in Phasen befinden, die um eine halbe Undulation (oder was der Wirkung nach dasselbe ist, um ein ungerades Vielfaches einer halben Undulation) von einander abweichen, eine völlige Aufhebung des Lichtes. Es kommt bei der Anwendung des Interferenzprincipes auf die Erklärung der Lichterscheinungen, wie das Folgende hinreichend bethätigen wird, ausschließend nur der Fall vor, daß die an einem Aethertheilchen zusammenzusetzenden Bewegungen ursprünglich von derselben Lichtquelle herrühren, allein von dieser zu verschiedenen Zeiten ausgegangen sind, und nur deßhalb, weil sie auf verschiedenen Wegen fortgepflanzt wurden, in demselben Augenblicke zusammentreffen und zur Interferenz gelangen. Diese einleitenden Bemerkungen vorausgesetzt, können wir jetzt zur näheren Betrachtung der Erscheinungen selbst übergehen, wobei wir zuerst diejenigen in Erwägung ziehen, welche auf der Fortpflanzung des Lichtes in einerlei Medium und nach derselben Gegend hin beruhen, sodann aber auch

auf das reflectirte und gebrochene Licht unsere Aufmerksamkeit richten. So lange nicht das Gegentheil erinnert wird, ist unter dem Medium, worin sich das Licht fortpflanzt, immer ein solches zu verstehen, welches nach allen Richtungen dieselbe Elasticität besitzt, wie dieß bei dem Aether in der Luft, worin die meisten Lichterscheinungen vor sich gehen, im Wasser, im gleichmäßig gekühlten Glase u. dgl. der Fall ist. Bei den Betrachtungen in den nächsten Kapiteln wird es gar nicht darauf ankommen, ob die Aetherschwingungen longitudinal oder transversal erfolgen, wenn sie nur von gleicher Art sind. Später aber wird über die Natur dieser Schwingungen selbst entschieden werden.

Zweites Kapitel.

Beugung des Lichtes.

219. Es gibt Erscheinungen, welche mit der Annahme, daß das Licht sich nothwendiger Weise in Folge seiner inneren, d. i. durch seine Natur gegebenen Beschaffenheit stets geradlinig fortpflanzen müsse, wie man dieß vordem allgemein vorausgesetzt hat, unverträglich sind. Eine der auffallendsten Erscheinungen dieser Art zeigt sich an dem Schatten eines schmalen undurchsichtigen Körpers, z. B. eines geraden Drahtes, etwa einer gewöhnlichen Stricknadel, worauf man durch eine kleine Oeffnung am Fensterladen des verfinsterten Zimmers, oder durch eine enge, dem Drahte parallele Spalte Sonnenlicht leitet. Anstatt eines einförmigen dunklen Schattenbildes, dessen Breite sich zu jener des Drahtes verhält wie die Distanz des Schirmes, worauf man den Schatten fallen läßt, von der Lichtquelle zu der gleichnamigen Distanz des Drahtes, wie man es nach der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes erwarten sollte, zeigt sich eine Art Spectrum. Die Hauptform desselben stimmt wohl mit dem erwarteten Schattenbilde überein, nur ist es bedeutend breiter; in der Mitte, wo gerade der intensivste Schatten seyn sollte, sieht man der Länge nach einen hellen Streifen, und zu beiden Seiten desselben dunkle Linien; bei größerer Distanz des Schirmes vom Drahte, deren nur zwei und außerhalb derselben einige farbige Säume; bei geringerer Distanz des Schirmes aber mehrere, zu deren Wahrnehmung man jedoch ein Vergrößerungsglas zu Hilfe nehmen muß, wobei man sogar des Schirmes ganz entbehren kann, da sich die Erscheinung, wenn man gegen den Draht hinsieht, auch vor dem Vergrößerungsglase in der Luft zeigt. Man erblickt da in der Mitte des Gesichtsfeldes ein System gleichweit von einander abstehender, der Richtung des Drahtes parallelen dunklen Linien, die durch helle Zwischenräume getrennt sind. Auf diese Weise sieht man an dem Rande jedes auch breiteren, von einem Puncte aus beleuchteten Körpers mehrere farbige Streifen. Man betrachtete diese und verwandte sogleich näher anzugebende Erscheinungen als das Resultat einer Ablenkung des Lichtes von seiner geraden Richtung durch

die Ränder des Körpers an dem es vorbeigeht, und nannte sie Beugung oder Inflexion (Diffraction) des Lichtes, welche Benennungen noch gegenwärtig im Gebrauche sind.

Schon Grimaldi hat um die Mitte des 17. Jahrhunderts die Eigenthümlichkeiten des Schattens eines schmalen Körpers bemerkt; die Beobachtungsweise mit dem Vergrößerungsglase wurde aber erst in neuerer Zeit durch Fresnel und Mayer angewendet. Man hält das Vergrößerungsglas nicht dicht an das Auge, sondern etwas davon entfernt, nämlich so weit, daß wenn man gegen das Licht hinsieht, das ganze Gesichtsfeld sich erleuchtet zeigt. Auf diese Weise läßt sich die obige Erscheinung sogar bei Kerzen- oder Lampenlicht beobachten.

220. Noch auffallender ist das umgekehrte Phänomen, wenn man das von einem leuchtenden Puncte, oder besser von einer engen Spalte kommende Licht durch eine zweite der ersten parallele enge Spalte gehen läßt. Man kann die Erscheinung mit einem Schirme auffangen oder mit einem Vergrößerungsglase betrachten, ja sogar wenn die zweite Spalte nur gehörig eng ist, sich damit begnügen, diese dicht vor das Auge zu halten und nach der Lichtquelle hinzusehen. Die vollkommenste Beobachtungsweise ist aber unstreitig die von Fraunhofer angegebene. Man bedient sich nach derselben eines guten Fernrohres, welches man so richtet, daß man die Spalte am Fensterladen deutlich sieht und vor dessen Objectiv man die andere Spalte anbringt. Man nimmt da eine sehr schöne Erscheinung wahr. Zielt das Fernrohr sammt der davor befindlichen Spalte gerade gegen die Lichtquelle, so sieht man in der Mitte des Gesichtsfeldes einen weißen Streifen a, Fig. 271, dessen Höhe so groß als die scheinbare Höhe der Lichtlinie, dessen Breite aber um so größer ist, je enger man die Spalte vor dem Fernrohre macht. Dieser Streifen ist gegen beide Enden zu gelb und zuletzt roth gefärbt; zu beiden Seiten desselben erblickt man eine Folge von Farbenbildern in übereinstimmender Anordnung, und zwar zunächst ein lebhaftes Farbenbild b, welches unmerklich in ein zweites, minder intensives c, dann in ein drittes wieder schwächeres d übergeht u. s. f. An der, der Mitte der ganzen Erscheinung zugekehrten Seite ist die Farbe jedes Bildes violett, dann folgt Blau, Grün und zuletzt Roth, man erkennt aber nur im ersten Farbenbilde alle sechs Farben, beim zweiten fehlt Violett, beim dritten Violett und Blau rc. Ein am Ocularglase des Fernrohrs angebrachtes kleines Prisma, dessen Axe horizontal stehen muß, wenn die Oeffnung des Schirmes vertical ist, zeigt, daß die der Axe nahen Farbenbilder nicht aus homogenem Lichte bestehen, daß es aber die weiter von der Axe entfernten allmälig werden. Je kleiner die Oeffnung am Schirme ist, desto mehr rücken die Farbenbilder aus der Mitte des Gesichtsfeldes und desto breiter werden sie, so, daß die Ablenkungswinkel des Lichtes stets der Breite der Oeffnung verkehrt proportionirt sind. Die Abstände bestimmter Strahlen in den auf einander folgenden Farbenbildern, z. B. der rothen, wachsen zu beiden Seiten von der Mitte, wie die Glieder einer arithmetischen Reihe, deren

Differenz dem ersten Gliede gleich ist. Die Breite der Oeffnung am Fenster, durch welche man das Licht einläßt, hat auf die Anordnung und Lage der einzelnen Farbenbilder keinen Einfluß, sie bestimmt aber die Reinheit und Deutlichkeit der Farben, weil der einfallende Lichtbüschel bei einer verticalen Spalte gleichsam aus verticalen Lichtlinien besteht, deren jede ihr Farbenbild gibt. Bei einer nur etwas breiten Oeffnung verursacht das Aufeinanderfallen mehrerer solchen Bilder eine Undeutlichkeit, daher es auch kommt, daß bei einer gewissen Größe der Spalte alle Farben verschwinden.

221. Ist das gebeugte Licht gleichartig, welches man entweder durch ein der lichtgebenden Spalte jenseits des Fernrohres vorgesetztes Prisma erhält, oder auch nur dadurch, daß man das Phänomen durch ein gefärbtes Glas oder durch eine gefärbte Flüssigkeit, welche nur gleichartiges Licht durchläßt, betrachtet, so erscheinen statt der Farbenbilder, die sich im vollen Sonnenlichte zeigen, Streifen von der Farbe des durchgelassenen Lichtes, welche durch völlig dunkle Schattenräume von einander getrennt sind. Jedoch ist die Intensität des farbigen Lichtes und der dunkeln Stellen nicht allenthalben gleich, sondern es gibt in jedem Farbenstreifen eine am stärksten beleuchtete Linie, von der zu beiden Seiten die Lichtstärke allmälig abnimmt, und ins völlige Schwarz übergeht. Je mehr sich diese Streifen von der Mitte entfernen, desto schwächer findet man sie, bis sie endlich ganz undeutlich und unsichtbar werden. Die Farbenstreifen sind im violetten Lichte schmäler als im blauen, in diesem schmäler als im grünen und so fort bis zum rothen. Hierdurch wird das Farbenspiel des Beugungsphänomens im weißen Licht begreiflich; es ist das Resultat des gleichzeitigen Vorhandenseyns der den einzelnen Lichtsorten, welche das weiße Licht zusammensetzen, entsprechenden Erscheinungen.

Man findet leicht rothe Gläser, die nahe nur homogenes Licht durchlassen. Für blaues Licht dient sehr gut schwefelsaures Kupferoxyd-Ammoniak, welches man darstellt, indem man einer Kupfervitriollösung so lange Ammoniak zusetzt, bis der anfänglich sich zeigende Niederschlag sich wieder auflöst. Man füllt die schön blaue Flüssigkeit in eine Flasche mit parallelen Wänden. Ob ein Glas oder eine Flüssigkeit nur homogenes Licht durchlasse, findet man wenn man das gefärbte Medium vor das mittelst eines Prismas nach einer Lichtflamme sehende Auge bringt. Es darf von dem Farbenbilde nur eine Farbe übrig bleiben, wenn das Glas oder die Flüssigkeit brauchbar seyn soll.

222. Stellt man vor das Objectiv des Fernrohres, auf welches weißes Licht fällt, einen Schirm mit zwei gleichen schmalen einander nahen Oeffnungen, so sieht man Spectra, welche denen ganz ähnlich sind, die eine einzelne dieser Oeffnungen für sich geben würde; aber in der Mitte des Gesichtsfeldes (vorausgesetzt, daß die Axe des Fernrohres gegen die Spalte am Fenster gerichtet ist) finden sich statt des weißen Streifens, den eine der Oeffnungen gegeben hätte, schmale Farbenbilder vor, durch welche dieser Streifen getheilt wird; die Mittellinie des Gesichtsfeldes nimmt ein weißer Streifen ein. Wendet man einen Schirm mit drei Oeffnungen an, so entstehen zwischen den

so eben erwähnten Farbenbildern in der Mitte des Gesichtsfeldes neue, deren Zahl sich vermehrt, während sie an Breite abnehmen, wenn man einen Schirm mit vier, fünf Spaltöffnungen u. s. w. vor das Objectiv bringt. Hiebei ändern sich die äußeren Farbenbilder nur wenig. Um diese Erscheinungen wahrzunehmen, bediene man sich eines Gitters mit vielen gleichen parallelen Zwischenräumen, setze vor dasselbe einen Schirm mit einer Spalte, die sich erweitern läßt, und gestatte so allmälig dem Lichte durch mehrere dieser Spaltöffnungen den Eingang in das Fernrohr. Tritt eine große Anzahl Oeffnungen in Wirksamkeit, so werden der letzteren Farbenbilder so viele, und sie selbst so schmal, daß sie zuletzt kaum merklich sind, und der weiße Streifen in der Mitte des Gesichtsfeldes gestaltet sich immer mehr zum Bilde der Oeffnung am Fensterladen. Man hat daher, wenn Strahlen durch eine geringe Anzahl von gleichen parallelen Spaltöffnungen ins Fernrohr kommen, dreierlei Spectra zu unterscheiden, äußere, oder nach Fraunhofer, Spectra der ersten Classe, die schon bei einer einzigen beugenden Spaltöffnung vorhanden sind; mittlere oder Spectra der zweiten Classe, die bei Anwendung von zwei Spaltöffnungen eintreten und bei wachsender Anzahl der Oeffnungen sich fort erhalten; innere oder Spectra der dritten Classe, die erst bei drei Spaltöffnungen entstehen, und bei wachsender Anzahl der Oeffnungen sich vervielfältigen und weniger merklich werden. Aus genauen Messungen folgt: 1) Bei einem und demselben Gitter, aber einer verschiedenen Anzahl Oeffnungen verhalten sich die Abstände derselben unvollkommenen Farbenbilder von der Axe umgekehrt, wie die Anzahl der gebeugten Strahlen. 2) Bei verschiedenen Gittern und einer gleichen Anzahl Zwischenräume wachsen die Abstände derselben Farbenbilder von der Axe, wie verkehrt die Entfernungen der Mitte zweier Zwischenräume. 3) Die Abstände der einzelnen Farbenbilder von der Axe wachsen, wie die Glieder einer arithmetischen Reihe, deren Differenz dem ersten Gliede gleich ist.

223. Macht man diesen Versuch mit homogenem Lichte, so sieht man die von diesem Lichte herrührenden Antheile der Spectra der zweiten Classe sich bei wachsender Anzahl der Oeffnungen nicht bloß in der Mitte des Gesichtsfeldes, sondern auch an den übrigen Orten zu Bildern der Oeffnung am Fensterladen gestalten, zwischen welchen sich die dem gewählten Lichte entsprechenden Antheile der Spectra der dritten Classe zeigen, die also auch nicht bloß in der Mitte des Gesichtsfeldes vorhanden sind. Die Dimensionen der Erscheinung sind für rothes Licht am größten und nehmen bis zum violetten stufenweise ab.

224. Läßt man endlich weißes Licht durch eine sehr große Anzahl schmaler Oeffnungen gehen, deren Entfernungen von einander vollkommen gleich sind, indem man ein Gitter mit sehr vielen kleinen Oeffnungen vor das Objectiv des Fernrohres stellt und durch eine schmale Oeffnung Licht darauf leitet; so sieht man die Oeffnung am Heliostat wie ohne Gitter (Fig. 272) und in einiger Entfernung davon zu beiden Seiten, vollkommen symmetrisch, eine große Anzahl Farbenbilder, wie

die, welche ein gutes Prisma hervorbringt; sie werden breiter, aber auch matter, so wie sie sich von der Mitte entfernen. Die ersten sind durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt, diese werden aber bei den folgenden immer schmäler, bis sie ganz verschwinden und die Spectra unvermerkt in einander übergehen, sich auch zum Theile decken. Man bemerkt auch bei gehöriger Stellung des Oculars in diesen Farbenbildern die dunklen Linien, zum Beweise, daß die Spectra aus homogenem Lichte bestehen. Zugleich finden folgende Gesetze der Ablenkung des Lichtes Statt: 1) Bei verschiedenen Gittern aus sehr vielen, parallelen, gleich dicken Fäden und gleichen Zwischenräumen verhalten sich die Sinusse der Ablenkungswinkel gleicher Theile der Farbenbilder umgekehrt wie die Entfernungen der Mitte zweier Zwischenräume. 2) Für jedes einzelne Gitter bilden die Sinusse der Ablenkung gleichartiger, farbiger Strahlen der verschiedenen Farbenbilder Glieder einer arithmetischen Reihe, deren Differenz dem ersten Gliede gleich ist. Das Auftreten der Spectra mit homogenem Lichte erklärt sich leicht aus 223. Jedes solche Spectrum ist die Aufeinanderfolge der Bilder der Spalte am Fensterladen für einfache Lichtsorten von verschiedener Farbe. Wo Licht von einer gewissen Abstufung mangelt, erscheint eine Lücke als dunkle Linie. Die Bilder in der Mittellinie des Gesichtsfeldes decken sich, und geben daher ein weißes Bild der Spalte am Fenster.

Gitter zu diesem Versuche erhält man am besten, wenn man entweder dünnen Gold- oder Silberdraht in die Gänge sehr feiner Schrauben spannt, oder wenn man in ein mit Goldblättchen belegtes Planglas Parallellinien radirt, oder nur mit einem Diamant in ein Planglas solche Linien zieht. Fraunhofer bediente sich bei den subtilsten Versuchen dieser Art eines auf die letzte Art verfertigten Gitters aus 3601 Linien, deren je zwei von ihrer Mitte aus gerechnet nur 0.0001223 P. Zoll von einander abstanden.

225. Sehr überraschende Erscheinungen, durch Farbenpracht und Symmetrie ausgezeichnet, zeigen sich, wenn Strahlen durch mehrere runde oder eckige Oeffnungen auf das Objectiv des Fernrohres fallen, mithin Strahlen, die nach mehreren Richtungen gebeugt sind, zusammen wirken. Fällt z. B. das Licht durch zwei gleiche, aber kleine, runde Oeffnungen auf das Objectiv des Fernrohres, so erblickt man darin die Erscheinung, welche Fig. 273, a, vorstellt, wo die weißen Räume Farbenbilder sind. Bei drei solchen Oeffnungen, deren Mittelpuncte ein gleichseitiges Dreieck geben, sieht man das Phänomen, welches Fig. 273, b, andeutet. Unbeschreiblich prächtig sind die Erscheinungen, die man erhält, wenn das Licht durch viele gleich gestaltete, und in symmetrischer Anordnung neben einander abstehende kleine Oeffnungen ins Fernrohr tritt. Sie hängen von der Gestalt und Anordnung dieser Oeffnungen ab, lassen sich aber nicht wohl in einem kleinen Raume abbilden.

Als Beleg des Gesagten mag die von Fraunhofer zuerst dargestellte Beugungserscheinung dienen, welche zwei gekreuzte Gitter mit gleichen

Spaltöffnungen geben, wodurch gleichsam ein Gitter mit quadratischen gleichen und gleichweit von einander abstehenden Oeffnungen entsteht; ferner die eines Gitters mit vielen regelmäßig gestellten dreieckigen Oeffnungen, dergleichen von Herschel und Schwerd construirt wurden, wobei die dichten Gruppen der farbigen Spectra durch die Radien eines sechsstrahligen Sternes gesondert erscheinen u. dgl. Man kann viele dieser und die vorhin beschriebenen Erscheinungen, welche Gitter mit parallelen Zwischenräumen zeigen, mit einfachen Mitteln hervorbringen, dergleichen vorzüglich von Schwerd angegeben worden sind. Feine Gitter braucht man nur vor das Auge zu halten und nach einem Lichtpuncte hinzusehen, den das an der convexen Fläche eines geschwärzten Uhrglases, in einem polirten Metallknopfe, einer gefüllten Thermometerkugel u. dgl. sich spiegelnde Sonnenbildchen darstellt; eine leuchtende Linie erhält man durch Spiegelung einer Stricknadel, einer Glasröhre ꝛc. im Sonnenlichte. Bequemer ist allerdings ein Handheliostat. Ueberhaupt bedarf man keines verfinsterten Zimmers. Die einfacheren, mittelst eines Fernrohres zu betrachtenden Gitter, lassen sich aus Kartenpapier, oder besser aus Stanniol, den man auf einen Rahmen spannt oder auf Glas klebt, ausschneiden.

226. So lange das Licht auf ein durchsichtiges oder undurchsichtiges Gitter senkrecht einfällt, erscheinen die durch Beugung entstandenen Spectra zu beiden Seiten des Bildes der Spalte vollkommen symmetrisch angeordnet, bei schief einfallendem Lichte hört jene Symmetrie auf, und die einzelnen Spectra erscheinen an der Seite, welche mit dem einfallenden Strahle einen spitzigen Winkel macht, größer als an der andern; diese Ungleichheit wächst mit dem Einfallswinkel des Lichtes.

227. Alle Beugungsphänomene stimmen darin überein, daß sie von der materiellen Beschaffenheit der das Licht beugenden Körper gänzlich unabhängig sind, und sich lediglich nach den Dimensionen derselben richten. Der das Licht beugende Draht (219) kann durch die Schneide oder den Rücken eines Messers, durch ein Haar, einen Streifen Papier, einen auf Glas gezeichneten oder radirten Strich ꝛc. ersetzt werden; die Gitter kann man aus jedem beliebigen durchsichtigen oder undurchsichtigen Materiale anfertigen. Hiebei ist also nichts den Molecularkräften oder der Gravitation Aehnliches im Spiele. Die Undulationstheorie, und nur sie allein, gibt über den Grund dieser Erscheinungen Aufschluß, was sie aber bis in das kleinste Detail zu thun vermag, wie die folgenden Deductionen zeigen werden, bei welchen wir mit der Betrachtung der Beugung des Lichtes durch eine oder mehrere enge Spalten, als dem leichteren Falle, den Anfang machen.

228. Es sey AB, Fig. 274, der Durchschnitt eines mit einer engen Spalte CD versehenen Schirmes mittelst einer Ebene, die senkrecht gegen die parallelen Ränder der Spalte gelegt wurde. Von einem leuchtenden Puncte falle gleichartiges Licht senkrecht auf die Oeffnung CD aus einer solchen Entfernung, daß alle diese Oeffnung treffenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen. In jedem Augenblicke tritt in die Oeffnung CD eine neue Welle ein, von deren Krümmung wir aus dem angeführten Grunde abstrahiren, d. h. die wir als eben ansehen. Alle Aethertheilchen in der Oeffnung CD werden in jedem

Augenblicke von einer Welle gemeinschaftlich ergriffen, sie sind daher in demselben Augenblicke in einerlei Vibrationsphase. Errichten wir in dem Halbirungspuncte E auf CD in der Ebene des Schnittes eine Senkrechte EF, ziehen wir ferner durch den in einer bedeutenden Entfernung von E befindlichen Punct F eine Parallele MN zu AB, und betrachten wir diese als den Durchschnitt einer Tafel, auf der das Beugungsphänomen, welches die Folge des Durchganges des Lichtes durch die Spalte CD ist, sich zeigen soll. Von allen in der Oeffnung CD vorhandenen Aethertheilchen gehen in jedem Augenblicke nach allen Richtungen Schwingungen aus, durch welche (da wir hier nur den Hergang des Phänomens in der Luft betrachten) das Licht mit einerlei Geschwindigkeit fortgepflanzt wird. Hiebei wird die Phase, in der sich jedes der genannten Aethertheilchen befindet, auf alle dasselbe umgebenden Aethertheilchen übertragen. Treffen nun in einem Puncte der Tafel MN, z. B. in dem Puncte G, Schwingungen zusammen, die verschiedene Wege wie CG, EG, DG, zurückgelegt haben, so sind dieselben von den Puncten C, E, D nicht in demselben Augenblicke ausgegangen, sondern die Schwingung, die von C herrührt, ist, da sie einen längern Weg CG zurückzulegen hatte, früher ausgegangen, als die von E herrührende, und diese wieder früher, als die von D erzeugte. Deßhalb befinden sich diese Schwingungen im Augenblicke ihres Zusammentreffens in G in verschiedenen Phasen, nämlich die Schwingung, welche das Aethertheilchen in C lieferte, in einer früheren als die von E, und diese wieder in einer früheren als die von D herkommt. Aehnliche Betrachtungen gelten von den Schwingungen, welche die übrigen Aethertheilchen innerhalb der Oeffnung CD nach G senden. Aus der Interferenz aller dieser Vibrationen geht eine Intensität des Lichtes in G hervor, die nach der Position dieses Punctes auf der Tafel MN wechselt. Wir wollen nun diese Intensität an verschiedenen Stellen der Tafel MN näher ins Auge fassen. Im Puncte F kommen Vibrationen zusammen, die sich sämmtlich in wenig von einander abweichenden Phasen befinden, weil wegen der größeren Entfernung der Tafel MN vom Schirme AB im Vergleiche gegen CD, der Unterschied zwischen CF und EF nur äußerst gering ist. Diese Vibrationen unterstützen einander und bringen in F eine Schwingungsintensität zu Stande, die der Summe der einzelnen Schwingungsintensitäten nahe gleich kommt, womit auch die Lichtintensität eine Steigerung erfährt. In F ist daher diese Intensität am größten. Schreitet man von da nach der einen oder der andern Seite der Tafel MN fort, so nimmt die Intensität des Lichtes ab. Je weiter man kommt, desto beträchtlicher wird die Differenz der äußersten Strahlen wie CG und DG, welche Differenz an der Stelle F gleich Null war. Sobald diese Differenz der Wellenlänge L gleich geworden ist, was jedoch wegen $CG - DG < CD$ nur dann eintreten kann, wenn die Breite der Spalte CD die Größe von L übertrifft, hat man eine Stelle erreicht, in welcher völlige Aufhebung des Lichtes Statt findet. Es sey nämlich die Position des Punctes G von der Art, daß

$CG - DG = L$ ist, so ist sehr nahe $CG - EG = \frac{1}{2}L$, und überhaupt wenn α und β Puncte sind, deren ersterer von C so weit absteht, als β von E, ist sehr nahe $\alpha G - \beta G = \frac{1}{2}L$. Man kann daher für jedes Theilchen zwischen C und E ein Theilchen zwischen E und D angeben, welches eine Schwingung nach G sendet, die sich rücksichtlich der vom ersteren ausgehenden in entgegengesetzter Phase befindet, mithin dieselbe aufhebt. Dasselbe ereignet sich im Puncte G', wenn die Differenz der Strahlen CG' und DG' das Doppelte der Wellenlänge L beträgt. Dann kann man nämlich auf CE und ED wegen $CG' - EG' = L$ und $EG' - DG' = L$ das so eben Gesagte anwenden. Dieselbe Bewandtniß hat es, wenn der Punct G'' so liegt, daß $CG'' - DG'' = 3L$ ist u. s. w. In den Puncten G, G', G''... auf beiden Seiten von EF wird dem gemäß Dunkelheit herrschen. Zwischen G und G' wächst die Intensität des Lichtes bis zu einem gewissen Grade, und nimmt sodann wieder ab; ein Gleiches ist zwischen G' und G'' der Fall u. s. w. Beschreibt man aus G mit dem Halbmesser GD den Bogen DH, so ist $CH = CG - DG$. Läßt man diesen Bogen für eine gerade Linie gelten, die auf GE senkrecht steht, so ist der Winkel $CDH = FEG$, mithin, wenn man letzteren Winkel durch φ bezeichnet, $\sin\varphi = \frac{CH}{CD}$. Setzt man nun die Breite der Spalte $CD = a$ und $CG - DG = nL$, wobei n eine ganze Zahl vorstellt, so ist $\sin\varphi = \frac{nL}{a}$. Mittelst dieser Formel läßt sich, wenn L bekannt ist, der Ablenkungswinkel der Stellen, wo Dunkelheit herrscht, von der Mittellinie der Erscheinung berechnen. Ist die Spalte so eng, daß $a < L$ wird, so gibt diese Formel $\sin\varphi > 1$ was unmöglich ist; in diesem Falle herrscht nirgends auf MN Dunkelheit. Ist aber a in Vergleich mit L groß, folglich $\frac{L}{a}$ klein, so kann man statt des Sinus von φ den Bogen selbst setzen, also $\varphi = \frac{nL}{a}$. Diese Gleichung gibt das in 220 angekündigte Gesetz, wornach sich die Abstände der gleichnamigen Stellen der Farbenbilder richten. Umgekehrt läßt sich, wenn φ durch Beobachtung gegeben ist, L finden, denn man hat $L = \frac{a \sin\varphi}{n}$. Hier wurden bloß die Strahlen, welche in der Schnittebene ABNM liegen, berücksichtiget. Es ist aber für sich klar, daß dieselben Schlüsse auch auf die Strahlen ausgedehnt werden können, welche von einem höheren oder tieferen Querschnitte ausgehend auf G fallen. Statt der Tafel MN kann man sich auch das Gesichtsfeld denken, welches mittelst eines Vergrößerungsglases oder mittelst eines Fernrohres betrachtet wird.

Wendet man zur Beobachtung der Erscheinung nach Fraunhofer ein Fernrohr an, vor dessen Objectiv der Schirm mit der Spalte steht, und dessen Ocular so gerichtet ist, daß man den Punct, von welchem das Licht kommt, deutlich sieht, so kann man ohne merklichen Fehler die das Objectiv treffenden Strahlen als parallel gelten lassen. Alle Elementarstrahlen, welche nun von der Spalte nach was immer für

parallelen Richtungen zu dem Objectiv gelangen, vereinigen sich in einem Puncte des durch die Mitte des Objectives gehenden Strahles, und haben dabei (wie aus der später folgenden Theorie der Brechung des Lichtes zu ersehen seyn wird) die Phasen, mit welchen sie in irgend einer vor dem Objective auf diesen Strahl senkrecht gelegten Ebene eintreffen. Hierauf beruht auch der Umstand, daß die Höhe der Beugungsspectra nicht größer ist, als die scheinbare Höhe der kleinen Oeffnung, von welcher das Licht ausgeht, weßwegen man diese Oeffnung mit einer Spalte vertauschen muß, um die Spectra mit einiger Höhe zu erhalten. Ihre Höhe wird dann der scheinbaren Höhe der Spalte am Heliostate gleich.

229. Es seyen im Schirme AB (Fig. 275) zwei einander nahe gleiche und parallele Spalten CD, C′D′ angebracht. Fallen wie vorhin homogene Lichtstrahlen senkrecht auf AB, so wird jede der Oeffnungen CD, C′D′ für sich das vorhin betrachtete Phänomen veranlassen. Liegen daher die Puncte G, G′, G″.. auf der Tafel MN oder im Gesichtsfelde des Fernrohres, so daß für sie hinsichtlich der Oeffnung CD, $sin\,\varphi = \frac{L}{a}, = \frac{2L}{a}, = \frac{3L}{a} \ldots$ ist, wobei φ, L und a die frühere Bedeutung haben so, wird, in sofern man bloß diese Oeffnung wirksam denkt, in G, G′, G″... Dunkelheit herrschen. Eben solche Puncte werden sich in Bezug auf das durch die Oeffnung C′D′ gehende Licht ergeben. Wendet man zur Beobachtung des Beugungsphänomens ein Fernrohr an, so fallen diese Puncte offenbar mit den früheren zusammen (ein Grund, der nebst anderen den Gebrauch des Fernrohres empfiehlt). Auf einer Tafel dagegen sind sie um die Größe des Intervalles CC′ getrennt, und fallen daher, wenn DC′ klein ist, sehr nahe an einander, so daß die den beiden Oeffnungen gehörenden dunklen Stellen im ersten Falle genau, im letzteren beinahe einander decken und übereinstimmend wirken. Nicht so ist es aber bei den lichten Stellen, denn es kommen da durch die Interferenz der Elementarstrahlen, die von CD ausgehen, mit jenen, die in C′D′ ihren Ursprung haben, besondere Effecte zu Stande. Liegt nämlich der Punct g auf MN so, daß die Differenz $Cg - C'g$ der Hälfte der Wellenlänge, d. i. $\frac{1}{2}L$, gleich kommt, so werden alle Strahlen, die von CD nach g gelangen, durch die von C′D′ dahin gesendeten getilgt, denn für zwei Puncte γ, γ', deren einer in CD, der andere in C′D′ so liegt, daß $C\gamma = C'\gamma'$ ist, hat die Differenz $\gamma g - \gamma' g$ wegen der Kleinheit von CD, C′D′ hinsichtlich des Abstandes der Tafel MN von AB sehr nahe den Werth $\frac{1}{2}L$, mithin gibt es für jeden Strahl von CD einen von C′D′, der nach g in jedem Augenblicke die entgegengesetzte Phase von der hinbringt, die das dort befindliche Aethertheilchen in demselben Augenblicke durch den ersteren Strahl erhält, wornach in g kein Licht Statt hat. Dasselbe gilt von den Puncten g′, g″ ꝛc., wenn $Cg' - C'g' = \frac{3}{2}L$, $Cg'' - C'g'' = \frac{5}{2}L$ ist u. s. w. Heißt der Winkel, um den jeder nach einem der Puncte g, g′, g″ ꝛc. gehende Strahl von der Senkrechten auf AB abweicht, ψ, so besteht zur Bestimmung der Position dieser Puncte die Gleichung $sin\,\psi = \frac{uL}{2b}$, wobei u eine unge-

rade ganze Zahl, und b die Distanz CC', oder was dasselbe ist, die Distanz der Mitten der Spaltöffnungen vorstellt, welche Gleichung auf dieselbe Weise, wie die in 228 abgeleitete gefunden wird. In der Mitte zwischen je zwei benachbarten der Puncte g, g', g''... findet die größte Lichtstärke Statt; die Oerter derselben werden durch die Gleichung $\sin \varphi = \frac{m L}{b}$ gegeben, worin m eine ganze Zahl ist.

Das Auftreten der inneren Spectra bei einem Schirme mit zwei Oeffnungen, während diese, wenn man eine der Oeffnungen zudeckt, ohne Störung der äußeren Spectra wegfallen, kann als experimentaler Beweis der Wirklichkeit der Lichtinterferenz dienen, insbesondere der Aufhebung des Lichtes bei dem Zusammentreffen zweier Strahlen unter gewissen Umständen. Schon Grimaldi hat den Satz ausgesprochen, daß durch Hinzufügung von Licht zu Licht Dunkelheit entstehen könne, es wurde aber diese Behauptung nicht beachtet, bis Young 1800 durch theoretische Betrachtungen geleitet, seine Aufmerksamkeit auf die nach ihm sogenannte Interferenz des Lichtes richtete, und das so eben erwähnte Factum zur Nachweisung ihrer Realität benützte.

230. Enthält der Schirm drei oder mehrere gleiche, parallele und gleichweit von einander abstehende Spalten, so entsteht im homogenen Lichte ein Beugungsphänomen, demjenigen ähnlich, welches eine einzelne der Oeffnungen für sich gegeben hätte, und aus dem Zusammenfallen der den einzelnen Oeffnungen zukommenden entspringend. Die dunklen Stellen desselben werden durch die Gleichung $\sin \varphi = \frac{n L}{a}$ gegeben, wobei a die Breite einer Oeffnung bedeutet. Außerdem aber wirken die von den einzelnen Oeffnungen herrührenden Strahlen auf einander wechselweise ein, und vernichten sich an gewissen Stellen. Es seyen z. B. fünf Oeffnungen vorhanden. Man nehme auf der Tafel MN, Fig. 276, einen Punct g, so daß die Differenz

$$Cg - C'g = C'g - C''g = C''g - C'''g = C'''g - C^{IV}g$$

den fünften Theil der Wellenlänge ausmacht, d. i. $= \frac{1}{5} L$ ist, so herrscht in g Dunkelheit. Es läßt sich dieses mit Zugrundelegung der im ersten Theile 358 angegebenen Formeln durch Rechnung beweisen. Gibt man zu, daß durch Interferenz gleichartigen Lichtes nur eine Aenderung der Intensität, aber keine Aenderung der Farbe Statt finden könne, so läßt sich die Richtigkeit der gemachten Behauptung durch folgendes populäre Raisonnement anschaulich machen. Nehmen wir an, das vom Puncte C nach g in irgend einem Augenblicke gesendete Licht befinde sich in einer gewissen Phase, so ist die Phasenzeit des Lichtes, welches in demselben Augenblicke von C' nach g kommt, um den fünften Theil der Schwingungsdauer $= \frac{1}{5} T$ gegen erstere voraus; das von C'', C''', C^{IV} herrührende Licht ist der Phase nach, im Vergleiche gegen das von C in g eintreffende, um $\frac{2}{5} T$, $\frac{3}{5} T$, $\frac{4}{5} T$ voraus; diese fünf Strahlen heben nun entweder einander auf, oder sie bringen eine Schwingung des Aethertheilchens in g hervor, vermöge welcher es in dem genannten Augenblicke in einer gewissen Phase ist. Wird letz-

terer Fall als möglich angenommen, so kehrt diese Phase nach der Zeit $\frac{1}{5}$T wieder zurück. Denn das Licht, welches nach dieser Zeit von C zu g gelangt, entspricht einem Fortschritte in der Schwingung um $\frac{1}{5}$T, weßwegen seine Phase jetzt genau die ist, welche in dem vorigen Zeitpuncte dem von C' nach g gesendeten Lichte angehörte. Ferner nimmt C' die frühere Phase von C'', C'' jene von C''', C''' jene von C^{IV}, endlich C^{IV}, weil wegen des periodischen Umlaufes ein Fortschritt um $\frac{1}{5}$T in dieselbe Phase führt, wie ein Rückschritt um $\frac{4}{5}$T, jene von C an. Es ist also nur die Ordnung, nicht die Größe der Phasen der fünf interferirenden Lichtstrahlen geändert, mithin muß das Resultat der Interferenz das vorige bleiben. Eben so kann man zeigen, daß dieses Resultat nach dem Verlaufe eines neuen Fünftels der Zeit T wiederkehrt u. s. w. Es wäre also durch das Zusammenwirken der genannten Strahlen eine Undulation entstanden, bei welcher dieselbe Phase wenigstens nach Verlauf von $\frac{1}{5}$T wieder kommt, mithin wäre die Undulationsdauer geändert, und wenigstens auf $\frac{1}{5}$T herabgesetzt, also die Farbe des Lichtes geändert worden, was obiger Concession widerspricht. Es bleibt somit nur der Fall des Aufhebens der Undulation selbst übrig. Auf dieselbe Art läßt sich zeigen, daß sich die fünf Strahlen, die von anderen aber ähnlich liegenden Puncten in CD, C'D', C''D'' ꝛc. herkommen, gegenseitig vernichten. Es herrscht also in g Dunkelheit. Eben entsteht in g' Dunkelheit, wenn $Cg' - C'g' = \frac{2}{5}L$ ist, und in g'', wenn $Cg'' = C'g'' = \frac{3}{5}L$ ist u. s. w. Dagegen wird in G volles Licht seyn, wenn $CG - C'G = L = \frac{5}{5}L$ ist, denn da treffen von ähnlich liegenden Puncten der Oeffnungen die Strahlen in einerlei Augenblick in gleichen Phasen zusammen, und verstärken sich. Eben dasselbe tritt in G' ein, wenn $CG' - C'G = 2L$ ist u. s. w. Aber in den Puncten, für welche die Strahlendifferenz in Bezug auf ähnlich liegende Puncte benachbarter Oeffnungen $\frac{6}{5}L$ oder $\frac{7}{5}L$ u. s. w. ist, wird Dunkelheit obwalten. Es werden daher die dunklen Stellen hier durch die Formel $\sin\psi = \frac{qL}{rb}$ gegeben, wobei q eine ganze durch die Anzahl r der Oeffnungen nicht theilbare Zahl, und b den Abstand der Mittelpuncte zweier nächsten Oeffnungen vorstellt; den durch die Formel $\sin\psi' = \frac{mL}{b}$, worin m eine ganze Zahl ist, angezeigten Stellen aber entsprechen Maxima des Lichtes. Vergleicht man die Resultate dieser Erklärung mit der Beschreibung der Beugungsphänomene in 222, 223, so zeigt sich die vollkommenste Uebereinstimmung der Theorie mit der Erfahrung.

231. Geht homogenes Licht senkrecht durch ein Gitter mit **sehr vielen** einander nahen gleichen Spalten, deren Abstände gleich sind, so wird in der Formel $\sin\psi = \frac{qL}{rb}$ für die dunklen Stellen der Spectra der dritten Classe $r = \infty$, mithin herrscht überall Dunkelheit, außer wo die durch die Formel $\sin\psi' = \frac{mL}{b}$ angegebenen lichten Stel-

len hinfallen. Hieraus erklärt sich das in 224 beschriebene Phänomen. Dieses läßt sich, wenn ψ' genau gemessen wird, zur Bestimmung von L gebrauchen, wie Fraunhofer gethan hat. Man erhält nämlich $L = \frac{b \sin \psi'}{m}$. Auf diese Weise fand Fraunhofer für die Strahlen nächst den Stellen C, D, E, F, G, H im Farbenbilde (212) folgende Werthe der Wellenlänge in der Luft in Hunderttausendtheilen eines Pariser Zolles.

Wellenlänge für C = 2,422
D = 2,175
E = 1,945
F = 1,794
G = 1,587
H = 1,464.

Die ungemeine Kleinheit der Wellenlängen des Lichtes, im Vergleiche mit dessen ungeheurer Fortpflanzungsgeschwindigkeit, läßt auf eine außerordentliche Kleinheit der Schwingungsdauer, mithin auf eine über alle Vorstellung große Menge von Schwingungen in einer Zeitsecunde schließen. Es hängt nämlich die Wellenlänge L mit der Schwingungsdauer T und mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit V der Wellen durch die Gleichung $L = VT$ zusammen. Bezieht sich die Angabe von V auf eine Secunde, wornach auch T durch die Secunde zu messen ist, so gibt $\frac{1}{T}$ die Anzahl der Schwingungen N in einer Secunde, mithin ist $N = \frac{V}{L}$. Nimmt man nun an, für eine gewisse Lichtsorte (von gelber Farbe) sey $L = 0{,}00002$ W. Zoll, und schlägt man den Werth von V nur auf 40000 Meilen an, jede zu 4000 Klafter gerechnet, so hat man, durch Reduction von V auf Zolle,

$$N = 40000 \,.\, 4000 \,.\, 6 \,.\, 12 \,.\, 100000 : 2 = 576 \,.\, 10^{12}.$$

Es zeigt sich daher in diesem Falle die ungeheure Anzahl von 576 Billionen Schwingungen in 1 Sec. Die Schwingungsdauer ist für rothes Licht größer als für violettes; das rothe Ende des Spectrums ist daher den tiefsten, das Violette den höchsten Tönen analog. Nach Herschel variirt die Anzahl der Schwingungen in 1 Sec. vom äußersten Roth bis zum äußersten Violett von 458 bis 727 Billionen, ein Intervall, das bedeutend weniger als eine Octave beträgt.

232. Wir haben bisher, der Einfachheit des Falles wegen, stets angenommen, daß die Lichtstrahlen die beugenden Oeffnungen senkrecht treffen. Ohne Schwierigkeit läßt sich die Betrachtung auch auf den Fall ausdehnen, wenn die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen mit dem Schirme einen schiefen Winkel machen. Man hat bloß den Umstand zu beachten, daß die in der Ebene der Oeffnungen vorhandenen Aethertheilchen in demselben Augenblicke in verschiedenen, von der Schiefe der Strahlen abhängenden Phasen sich befinden. Die Theorie der Beugung durch Gitter mit Reihen von Oeffnungen, deren Gestalten und Anordnung welche immer seyn mag, läßt sich auf dem Wege der Undulationstheorie nicht weniger genügend entwickeln, als die oben betrachteten einfachen Fälle; jedoch ist hiezu eine bloß popu-

läre Vorgangsweise nicht hinreichend, sondern man muß die Rechnung zu Hilfe rufen. Diese gibt Resultate, die nicht bloß mit der Erfahrung auf das Genaueste harmoniren, sondern auch auf Einzelnheiten der Phänomene aufmerksam machen, die sonst leicht übersehen würden. Eine vollständige und sorgfältige Behandlung dieses Gegenstandes findet man in dem, auch treffliche Winke zur leichten Anstellung der Versuche enthaltenden Werke: Die Beugungserscheinungen aus den Fundamentalgesetzen der Undulationstheorie analytisch entwickelt und in Bildern dargestellt von F. M. Schwerd. Mannheim, 1835.

233. Die Theorie der Beugung des Lichtes am Rande eines undurchsichtigen Schirmes, oder an beiden Rändern eines schmalen Körpers gründet sich auf die Wirkung eines Wellenstückes, das sich nach einer Seite ins Unbestimmte ausbreitet und nur nach der andern Seite begrenzt ist, auf einen Punct. Folgende Betrachtungen mögen hinreichen, zu zeigen, wie diese Beugungsphänomene aus der undulirenden Bewegung des Aethers entspringen, in so weit es möglich ist, davon ohne Anwendung der mathematischen Analyse einen Begriff zu geben. Es sey AB, Fig. 277, ein normaler Durchschnitt eines Wellenstückes, das von einem homogenes Licht gebenden Puncte oder von einer Linie ausgesendet wird, und von dessen Krümmung wir abstrahiren, AC die Normale zum Puncte A nach der Richtung des Fortschreitens der Welle gezogen, P ein in bedeutender Distanz von A angenommener Punct, der sich jenseits der AC befinde. Man theile AB in Theile Aa, ab, bc, cd, de u. s. w., so daß der Unterschied der Entfernungen der Grenzpuncte eines jeden von P die Hälfte der Wellenlänge des Lichtes beträgt, mithin $aP - AP = \frac{1}{2}L$, $bP - aP = \frac{1}{2}L$, $cP - bP = \frac{1}{2}L$ u. s. w. ist. Die Elementarstrahlen, welche von den Puncten A, b, d, ... ausgehen, bringen, indem sie in P zusammentreffen, übereinstimmende Phasen dahin; die von den Puncten a, c, e, ... herrührenden Phasen aber sind ersteren gerade entgegengesetzt. Dasselbe gilt von ähnlich liegenden Puncten der Stücke Aa, bc, dc, ... im Vergleiche mit ab, cd, ... Ertheilt nun die Gesammtwirkung aller Puncte des Stückes Aa dem Puncte P eine gewisse Phase, so empfängt er in demselben Augenblicke von dem Stücke ab eine entgegengesetzte, aber von geringerer Energie, denn die Ausdehnung des Stückes Aa ist etwas größer als die des Stückes ab, und ersteres ist auch dem Puncte P etwas näher als letzteres. Dasselbe gilt von dem Effecte des Stückes bc im Vergleiche mit dem gleichzeitigen von ab u. s. w. Nennen wir nun die Vibrationsintensitäten des Punctes P, in Folge der gleichzeitigen Gesammtwirkung der Stücke Aa, ab, bc, cd, de ... auf ihn, der Reihe nach $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \ldots$ so ist, wenn I die resultirende Intensität der Schwingung von P vorstellt:

$$I = \alpha - \beta + \gamma - \delta + \varepsilon - \ldots$$

wobei $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \ldots$ eine abnehmende Reihe bilden, deren Glieder zuletzt ganz unmerklich werden. Auch lehrt die Rechnung, daß, wenn P anfänglich in C, und sodann nach der auf AC senkrechten Rich-

tung Cz sich von AC entfernend gedacht wird (wobei zugleich die Puncte a, b, c, ... sich entsprechend verschieben), der Werth von I ununterbrochen fort abnimmt, ein Resultat, welches übrigens aus der Natur der Sache sich voraussehen läßt. Alles Gesagte besteht auch noch, wenn man die von andern Durchschnitten der Welle AB nach P gesendeten Elementarstrahlen in die Betrachtung aufnimmt. Ist daher AH ein Schirm, der bloß das Wellenstück AB vorbei läßt, mithin Cz der geometrische Schatten dieses Schirmes, so nimmt die Lichtstärke von C gegen z hin sehr rasch ab. Ist aber AH ein sehr schmaler Körper, so daß das von der andern Seite desselben in den geometrischen Schatten einwirkende Licht eine mit der des ersteren vergleichbare Stärke hat, und der Gangunterschied beider Lichtbündel nicht zu groß ist, so interferiren sich dieselben nahe nach dem oben (229) für eine Doppelspalte gefundenen Gesetze, wobei man die Ränder A und H näherungsweise wie die Spalten wirkend betrachten darf. Befindet sich aber der Punct P dießseits der AC, Fig. 278, so ziehe man von ihm zur Welle die Normale PE, und verbinde P mit A. Ist der Unterschied AP — EP kleiner als die Hälfte einer Wellenlänge, so fügt das Stück AE zu dem Effecte, den EB in P hervorbringt, etwas hinzu; ist AP—EP größer als vorhin und kleiner als eine Wellenlänge, so wirkt, wenn h in EA so angenommen wird, daß hP — EP $= \frac{1}{2}$L ist, hB auf P, wie eben gesagt wurde, aber die Action von hA vermindert diesen Effect. Liegt die Differenz AP — EP zwischen L und $\frac{3}{2}$L, so ist der Lichteffect in P wieder größer als im nächst vorhergehenden Falle. Hieraus ergibt sich die Folge, daß, wenn AH ein Schirm von bedeutender Breite ist, die Stärke der Beleuchtung außerhalb seines geometrischen Schattens in CP, durch mehrere abwechselnd auf einander folgende Maxima und Minima geht, nämlich von C gegen P hin zuerst wächst, dann abnimmt, ohne jedoch bis auf Null herab zu sinken, hierauf wieder wächst u. s. w. Hiedurch sind die Streifen erklärt, welche man am Rande des Schattens jedes breiten, von einem Puncte beleuchteten Körpers wahrnimmt. Diese Streifen finden sich auch vor, wenn der Körper AH schmal ist, jedoch modificirt das von H auf die andere Seite gelangende Licht dieselben um so mehr, je geringer die Breite AH ist.

Andere Phänomene, z. B. daß bei Beleuchtung eines kleinen kreisrunden Schirmes durch einen Lichtpunct die Mitte seines Schattens eben so hell ist, als wenn der Schirm nicht da wäre u. dgl., bestätigen die Richtigkeit der Theorie um so mehr, als sie durch selbe vorausgesagt und erst hinterher durch Versuche nachgewiesen worden sind. Ueber die Beugung des Lichtes an den Rändern der Körper s. Fresnel in Pogg. Ann. 30. 100.

234. Die hier nach den Principien der Undulationstheorie vorgetragene Erklärung der Erscheinungen der Beugung des Lichtes läßt uns nun auch einsehen, was es mit der sogenannten geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes für eine Bewandtniß habe. Im Allgemeinen findet sie, wie die Beugungsphänomene lehren, nicht Statt;

denn der durch eine enge Spalte hindurch von einem Puncte beleuchtete Raum ist größer, als er dieser Fortpflanzungsweise des Lichtes gemäß seyn sollte, und die Durchschnittspuncte der Streifen einer gewissen Ordnung mit einer auf die Spalte senkrechten Ebene liegen, weil die Differenz ihrer Abstände von den Rändern der Oeffnung constant bleibt, in einer Hyperbel, deren Brennpuncte in diesen Rändern ihren Sitz haben. Wo die geradlinige Lichtfortpflanzung Statt hat, geht sie aus dem Umstande hervor, daß sich alles Seitenlicht durch Interferenz zerstört. Je weiter man eine Spalte öffnet, die das von einem Puncte ausfahrende Licht theilweise aufhält, desto mehr rücken die Beugungsspectra, deren äußerste eine verschwindende Intensität haben, an einander, und sämmtliche Spectra werden bei zu großer Oeffnung endlich unmerklich. Hindert man einen Theil der einander aufhebenden Strahlen zu den übrigen zu kommen, so bleiben diese wirksam, ein Umstand, der den Zusammenhang zwischen Beugung und geradliniger Fortpflanzung des Lichtes klar darlegt.

Aus den angeführten Beugungsgesetzen erklären sich mehrere Erscheinungen. Z. B. die Farben, welche man bemerkt, wenn man durch den dünnen Theil des Bartes einer Vogelfeder, durch enge gewebtes Zeug, oder durch ein mit Hexenmehl bestreutes Glas auf einen nicht zu nahen, stark beleuchteten Punct sieht; das Farbenspiel an den feinen Haaren der Hüte, wenn man durch sie nach der Sonne blickt; die Farbenringe um den dunklen Mondeskörper bei totalen Mondesfinsternissen; die dunklen Streifen, welche man zwischen den eng an einander geschlossenen gestreckten Fingern sieht ꝛc.

Drittes Kapitel.

Reflexion des Lichtes.

235. Ist MN (Fig. 279) die tangirende Ebene der Trennungsfläche zweier ungleichartigen Mittel, B der Berührungspunct, den der Strahl AB trifft, ferner BC senkrecht auf der Ebene MN, und BD die Richtung des reflectirten Strahles; so heißt B der Einfallspunct, BC das Einfallsloth des Strahles AB, eine Ebene durch AB und BC die Einfallsebene, ABC der Einfallswinkel, CBD der Reflexionswinkel. Diesem nach geschieht die Reflexion des Lichtes immer nach den Gesetzen: 1) Daß der reflectirte Strahl in der Einfallsebene liegt; 2) daß der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich ist.

Von der Richtigkeit dieser Gesetze überzeugt man sich, wenn man einen Lichtstrahl durch eine sehr kleine Oeffnung in ein verfinstertes Zimmer leitet, ihn auf eine wohl polirte Fläche auffallen läßt, und mittelst eines genauen Instrumentes den Einfallswinkel mit dem Reflexionswinkel vergleicht.

236. Wendet man diese Grundgesetze der Reflexion des Lichtes auf Spiegel von verschiedener Gestalt an, so findet man immer die

Richtung der Lichtstrahlen nach der Reflexion, mithin den Ort, wo sie herkommen oder herzukommen scheinen, daher auch die Lage des Bildes, das sie erzeugen, und dessen Beschaffenheit. Mit den so gefundenen Resultaten stimmt die Erfahrung auf das Genaueste überein, und liefert hiedurch einen ferneren Beweis für die Richtigkeit der eben erwähnten Reflexionsgesetze. Um dieß an einem schlagenden Beispiele zu zeigen, sey MN, Fig. 280, ein ebener Spiegel, A ein Punct, der die Lichtstrahlen AH, AK, AL darauf sendet, von denen AH auf MN senkrecht steht. Man findet die Richtung der reflectirten Strahlen KO und LO', wenn man in den Einfallspuncten K und L die Einfallslothe KE und LF errichtet, und EKO = EKA, FLO' = FLA macht. Der Strahl AH wird offenbar in seiner eigenen Richtung zurückgeworfen, er heißt der Hauptstrahl, und wird in seiner Verlängerung Ax von den verlängerten Strahlen OK und OL geschnitten. Dieses mag von ersterem in A', von letzterem in A'' geschehen. Da ist nun wegen HK = HK, AHK = A'HK und AKM = NKO = A'KM das Dreieck HKA mit dem Dreieck HKA' congruent, und deßhalb AH = A'H. Aus gleichen Gründen findet man AH = A''H, woraus dann folgt: A'H = A''H, d. h. alle reflectirten Strahlen scheinen von einem Puncte des Hauptstrahles hinter dem Spiegel herzukommen, der eben so weit hinter der Spiegelfläche liegt, als der leuchtende Punct sich vor derselben befindet. An dieser Stelle erscheint daher dem Auge das Bild des leuchtenden Punctes.

237. Der Hergang der Reflexion des Lichtes findet in der Undulationstheorie seine vollste Erklärung. Es sey A, Fig. 281, ein leuchtender Punct, von welchem Lichtstrahlen AB, AB' u. s. w. auf die Trennungsfläche MN zweier Mittel fallen. Die in MN liegenden Aethertheilchen werden hiedurch erschüttert. Da sie aber nicht wie die das Licht längs AB, AB' fortpflanzenden Aethertheilchen ausweichen, indem sie durch andere Kräfte, wie jene beherrscht werden, so wirken sie sowohl auf das Medium, in welchem sich das Licht ursprünglich bewegt hat, wie auch auf das jenseits MN befindliche Mittel, und erzeugen dadurch, gleichsam wie eine selbstständige Lichtquelle, neue Wellen. Die in das ursprüngliche Mittel zurückschreitenden Wellen, welche wir für jetzt allein betrachten, begründen das reflectirte Licht. Gleich wie sich in dem ersten Mittel um A eine Fläche denken läßt, zu deren Puncten die von A ausgehenden Erschütterungen gleichzeitig gelangen, und die, wenn man dieselbe Reihe gleichzeitiger Vibrationen weiter verfolgt, sich fortwährend ausbreitet, ihren früheren Formen stets ähnlich bleibend, welche Fläche wir Wellenfläche nennen; eben so läßt sich auch für das reflectirte Licht eine Wellenfläche denken, als geometrischer Ort der gleichzeitigen Ankunft der Vibrationen. Um dieselbe construiren, insbesondere um zu jedem gegebenen einfallenden Strahle den durch Reflexion entstehenden angeben zu können, wenden wir das in 218 angedeutete allgemeine Princip so an, wie es in der directen Fortschreitung des Lichtes in einem homogenen Mittel sich zu erkennen gibt. Sind a, b, c, d .... in der Fläche MN liegende Aether-

theilchen, so werden dieselben von jeder Vibration des Punctes A im Allgemeinen in verschiedenen Zeiten τ, τ', τ'', τ''', ... erreicht. Ist die reflectirte Welle für das Ende der Zeit t anzugeben, wobei t größer gedacht wird, als τ, τ', τ'', ... so sehe man die Puncte a, b, c, d, ... als selbstständige Mittelpuncte der Undulationen an, und construire um a herum die Wellenfläche mit den Dimensionen, die ihr nach Verlauf der Zeit $t-\tau$ von ihrem Ursprunge an gerechnet zukommen; eben so beschreibe man für b, c, d, ... die Wellenflächen hinsichtlich der Fortpflanzungszeiten $t-\tau'$, $t-\tau''$, $t-\tau'''$ ... u. s. w. Denkt man sich jetzt die Puncte a, b, c, d, ... einander unendlich nahe, so bilden die zwischen den Durchschnitten der dicht an einander gereihten Wellenflächen liegenden Stücke wie m n, n p ꝛc. eine Fläche P Q, von der die ersteren Flächen sämmtlich berührt werden, und diese ist keine andere, als die allem reflectirten Lichte entsprechende Wellenfläche selbst. Hiebei sind die Geraden a m, b n, c p, ... die durch Reflexion der Lichtstrahlen A a, A b, A c, ... entstandenen. Die Position des Punctes m auf P Q wird, unter der Voraussetzung, daß a b unendlich klein ist, durch die Bedingung bestimmt, daß $Aa + am$ und $Ab + bm$ von jeder Undulation des Punctes A in einerlei Zeit zurückgelegt werden. Hiezu können wir noch die Bemerkung fügen, daß die von a, b, c, d, ... ausgehenden Vibrationen einander in m, n, p, ... wegen der Gleichheit der Phasen, mit denen sie daselbst ankommen, unterstützen (obgleich in einerlei Augenblick a, b, c, d, ... verschiedene Phasen zeigen), dagegen die von eben diesen Mittelpuncten seitwärts gesendeten Vibrationen einander durch Interferenz aufheben. Denn wenn wir auch ohne nähere Bestimmung der Beschaffenheit des einfallenden Strahles, seiner Lage, und der Natur der an einander grenzenden Mittel über die Art der von der Trennungsfläche in beide ausgehenden Schwingungen nichts auszusagen vermögen; so ist es doch gewiß, daß, wenn zwischen zwei unmittelbar von A ausgegangenen und in MN eintreffenden Erschütterungen ein Phasenunterschied besteht, die Schwingungen, welche von den erschütterten Puncten in M N ausgehen und irgendwo zusammentreffen, dieselbe Phasendifferenz zeigen. Uebrigens liegt es außerhalb der Grenzen dieses Lehrvortrages, das Problem der Reflexion und Brechung des Lichtes nach seinem ganzen Umfange abzuhandeln; für den Augenblick beschränken wir uns auf den Fall, wenn das Medium, worin die Reflexion des Lichtes vor sich geht, das Licht nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzt und die reflectirende Fläche eine Ebene ist. In Bezug auf diesen Fall haben wir aber nur zu wiederholen, was bereits im ersten Theile (369) gelehrt wurde. Es erzeugt nämlich, wie die am angeführten Orte gegebene Deduction nachweiset, eine sphärische Welle durch Reflexion an einer Ebene eine zweite sphärische Welle, deren Mittelpunct A' so liegt, daß die von ihm zum Mittelpuncte A der directen Welle gehende gerade Linie auf der reflectirenden Ebene senkrecht steht und durch selbe halbirt wird. Wie man sieht, stimmt diese Folgerung mit derjenigen, zu welcher die in 236 angestellte Betrachtung führte, ganz überein.

238. Denkt man sich die reflectirende Fläche MN, Fig. 281, als einen sehr schmalen Streifen, so sind nicht hinreichend viele Puncte a, b, c, d, ... in derselben vorhanden, um die Seitenbewegung des Lichtes vollständig aufzuheben. Dann muß also ein Beugungsphänomen eintreten, gerade so, als ob das Licht von dem Puncte A' durch eine sehr schmale, der MN an Ausdehnung gleiche Spalte gegangen wäre. Diese Bemerkung, die sich in der Erfahrung bestätiget, ist vorzüglich geeignet, die Nothwendigkeit des Interferenzprincips zur Begründung einer richtigen Erklärung der Reflexion ersichtlich zu machen.

Daher war die Erklärung, die der große Mathematiker Huyghens, der wahre Urheber der Undulationstheorie, von der Reflexion, wie auch von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes gab, worin er die Elementarwellen, welche die wirksame Welle zusammensetzen, bloß ihrer geringen Intensität wegen als unmerklich, letztere dagegen als den Inbegriff unendlich vieler coincidirenden Vibrationen allein als merklich betrachtete, noch unvollständig. Erst das von Fresnel in die Erklärung verflochtene Princip der Interferenz, vermöge welcher die Seitenbewegung wegfällt, vervollständigte die Deduction. Nach der älteren Weise wurde lediglich die Wirkung einer einzigen Erschütterung des Mediums in das Auge gefaßt; die neuere Theorie nimmt eine Fortdauer des Bewegungszustandes an, wodurch es möglich wird, daß nach der Reflexion Wellen, die von der Lichtquelle später ausgingen, auf frühere einwirken, und alles Licht, jenes, welches in der Richtung des reflectirten Strahles besteht, ausgenommen, sich tilgt. Die Emanationshypothese, welche die Erscheinungen des Lichtes auf die Bewegung äußerst feiner materiellen Partikel zurückzuführen strebt, gibt die Erklärung der Reflexion folgendermaßen: Von den reflectirenden Körpern geht eine Kraft aus, welche auf die Lichttheilchen abstoßend wirkt. Jedoch kann diese nicht erst beginnen, wenn das Licht die reflectirende Ebene berührt, weil sonst die Erhöhungen und Vertiefungen, die sich auch an den möglichst polirten Oberflächen befinden, und gegen die Feinheit des Lichtes unendlich groß sind, zur Folge haben müßten, daß eine Reflexion nach allen Seiten erfolgen müßte, und nicht in der Ordnung, wie das Licht auffällt, welches doch bei den Spiegeln der Fall ist. Die Wirkungssphäre dieser Kraft muß aber doch sehr klein seyn, weil der Erfahrung gemäß ein Strahl von den Theilen, die in einer merklichen Entfernung vom Einfallspuncte liegen, gar keine Einwirkung erfährt. Denkt man sich nun die Geschwindigkeit eines schief auf eine reflectirende Fläche einfallenden Strahles in eine auf diese Fläche senkrechte (normale) und in eine mit dieser parallele aufgelöset, so wird nur erstere durch die abstoßende Kraft des Mittels verringert, letztere aber gar nicht afficirt. Deßhalb beschreibt der Strahl von dem Augenblicke an, wo er in die Wirkungssphäre des Mittels eintritt, eine krumme, gegen das Mittel convexe Bahn. Sobald die ganze normale Geschwindigkeit aufgehoben ist, bewirkt die abstoßende Kraft eine der normalen Geschwindigkeit des Lichtes entgegengesetzte, und diese mit der übrig gebliebenen parallelen Geschwindigkeit zusammengesetzt, gibt eine der vorher genannten gleiche krumme Bahn für das Licht, und am Puncte, wo dasselbe die Wirkungssphäre des Mittels verläßt, fährt es nach der Tangente dieser Curve fort, und bildet so den reflectirten Strahl.

239. Radirt man auf ein polirtes Stahlplättchen oder auf ein mit Gold belegtes Planglas ein feines Gitter, und legt es so, daß das von demselben reflectirte Licht entweder unmittelbar oder durch ein Fernrohr ins Auge kommt; so gewahrt man alle Erscheinungen, die im directen Lichte bei demselben Gitter bemerkt werden. Die einzelnen Farbenbilder und ihre Abstände von der Axe sind desto größer, je schiefer das Licht einfällt.

Die Beugungsgesetze reflectirter Strahlen sind für die Erklärung häufig vorkommender Erscheinungen fast noch fruchtbarer, als jene der an den Rändern der Körper bloß vorbeigehenden. Man erklärt daraus das lebhafte Farbenspiel des Barton'schen Irisschmuckes, ja selbst das bekannte Farbenspiel der Perlmutter; denn Brewster überzeugte sich, daß die Oberfläche derselben sehr viele, feine, regelmäßige Furchen habe, daß man diese irisirende Eigenschaft anderen weichen Substanzen, z. B. Siegellack, arabischem Gummi, Stannifolium, selbst Blei mittheilen kann, indem man ein Plättchen Perlmutter darauf abdrückt; er bemerkte dieselbe Lichterscheinung auch an der Oberfläche einer stark eingekochten Gallerte aus Kalbsfüßen. Zu diesen Erscheinungen gehört auch das Farbenspiel der Flügeldecken einiger Insecten, das Schillern abgestandener Gläser, vieler Färbestoffe, z. B. des trockenen Waides, die Lichtstreifen an dem Bilde einer Kerzenflamme in manchem Planspiegel ꝛc.

240. Befindet sich vor einem Planspiegel ein leuchtender Gegenstand, so muß dem oben erklärten Gesetze gemäß das Bild jedes einzelnen Punctes in der Verlängerung der von demselben auf die Spiegelfläche gezogenen Senkrechten erscheinen, eben so weit hinter dem Spiegel, als jener Punct vor dem Spiegel steht. Die Bilder aller dieser Puncte zusammen geben das des Gegenstandes. Man sieht wohl leicht ein, daß dieses Bild die Stellung und Größe des abgebildeten Gegenstandes haben, und daß es an allen Bewegungen desselben Theil nehmen werde. Macht eine gerade Linie am Gegenstande mit dem Spiegel einen Winkel von 45°, so macht diese mit der ihr entsprechenden Linie an dem Bilde einen rechten Winkel; steht aber ein Gegenstand auf dem Spiegel senkrecht, so hat sein Bild gerade die entgegengesetzte Lage. Ein bestimmter Punct eines Gegenstandes wird mittelst eines ebenen Spiegels nur dann gesehen, wenn die vom Auge nach dem Bilde dieses Punctes gezogene gerade Linie die spiegelnde Fläche durchschneidet. Der Durchschnittspunct gibt die Stelle des Spiegels an, von welcher die von genanntem Puncte ausgehenden Strahlen in das Auge gesendet werden. Es läßt sich leicht zeigen, daß ein verticaler Spiegel, in welchem ein aufrecht stehender Mensch sein Bild ganz übersehen soll, wenigstens die Hälfte der Höhe und Breite des Körpers desselben haben, und bei dem angegebenen Minimum der Dimensionen sich in einer bestimmten Stellung befinden müsse. Wird ein Spiegel bewegt, während der Gegenstand in Ruhe bleibt, so beträgt die Bewegung des Bildes das Doppelte jener des Spiegels. Auf den Gesetzen der Lichtreflexion an Planspiegeln beruhen mehrere wichtige physikalische Instrumente und Versuche, wie z. B. der Heliostat, der Heliotrop,

die verschiedenen Reflexionsgoniometer, der Spiegelsextant (Octant, Kreis), Wheatstone's rotirender Spiegel (96) ꝛc.

Der Heliostat ist ein Planspiegel, den man mit einem Uhrwerke in Verbindung setzen und dadurch so bewegen kann, daß die darauf fallenden Sonnenstrahlen, ungeachtet der Bewegung der Sonne, immer nach derselben Richtung reflectirt werden (Pogg. Ann. 17. 71).

Gauß's Heliotrop besteht aus zwei auf einander senkrechten, mit einem Fernrohre verbundenen Planspiegeln, deren einer dazu dient, das Sonnenlicht nach einem bestimmten, weit entfernten Puncte hinzuwerfen, so daß man daselbst den Spiegel hell erleuchtet sieht, der andere aber, um dem ersteren die zu seinem Zwecke nöthige Stellung zu geben. Es werden nämlich die Sonnenstrahlen, welche auf diese Spiegel fallen, weil die Ebenen letzterer einen rechten Winkel bilden, nach parallelen und entgegengesetzten Richtungen reflectirt, so, daß wenn man das Bild der Sonne mittelst des einen Spiegels an einem Orte sieht, die von dem andern Spiegel reflectirten Sonnenstrahlen nach diesem Orte gehen.

Die Reflexionsgoniometer sind Instrumente, mittelst welchen man die ebenen Winkel der Krystalle durch reflectirtes Licht mißt. Sie beruhen im Allgemeinen darauf, daß, wenn eine Krystallfläche Licht in bestimmter Richtung reflectirt, das von einer andern Fläche zurückgeworfene Licht nur dann genau dieselbe Richtung haben wird, wenn diese Fläche genau in die Lage der ersteren gebracht worden ist. Wird demnach die Richtung beobachtet, in welcher Licht von einer der zwei Krystallflächen, deren Neigung φ man wissen will, reflectirt wird, und dann der Krystall so weit um die betreffende Kante gedreht, bis das von der zweiten Fläche zurückgeworfene Licht dieselbe Richtung hat, so weiß man, daß dieser Drehungswinkel $= 180^{\circ} - \varphi$ ist, und hat man diesen gemessen, so ist auch φ gefunden. Das brauchbarste Instrument dieser Art hat Wollaston angegeben (Gilb. 37. 357; 49. 191). Mohs hat es sehr zweckmäßig abgeändert.

Der Spiegelsextant dient zur Messung des Winkels, den die vom Auge nach zwei entfernten Puncten gehenden geraden Linien einschließen. Er besteht aus einem in Grade getheilten Bogen von 60°, auf dessen Ebene ein fixer, nur zur Hälfte belegter Glasspiegel A und in dessen Mittelpunct ein um denselben beweglicher, ganz belegter Spiegel B aufgestellt ist. Die spiegelnde Fläche des ersteren ist dem Auge zugekehrt, welches durch den unbelegten Theil desselben nach entfernten Gegenständen sehen kann; der zweite kehrt seine spiegelnde Fläche den Gegenständen zu, auf welche sich die Winkelmessung bezieht, und sendet nach Verschiedenheit seiner Stellung die von denselben ausgehenden Strahlen auf den Spiegel A, die dann von diesem durch abermalige Reflexion ins Auge gelangen. Stellt man den beweglichen Spiegel B so, daß man einen entfernten Gegenstand durch den unbelegten und im belegten Theile von A so sieht, als wäre der ganze Spiegel A unbelegt (in welchem Falle die Ebenen von A und B einander parallel sind), und wendet dann B dergestalt, daß das Bild eines zweiten Gegenstandes mit dem durch den unbelegten Teil von A gesehenen ersten Gegenstande coincidirt, so gibt das Doppelte des Winkels, um welchen B gedreht wurde, welchen man mittelst eines mit B fest verbundenen Lineals am Gradbogen abliest, den Winkel der nach beiden Gegenständen gezogenen Linien an. Mit einem Sextanten kann man unmittelbar nur Winkel messen, die 120° nicht überschreiten; ein Spiegelkreis gestattet auch die Messung größerer Winkel.

Wheatstone's Anwendung eines um eine Axe sich drehenden Planspiegels zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektricität,

wie dieß in 96 erklärt wurde, gründet sich auf folgenden Satz: Es sey M N (Fig. 281) ein Planspiegel, A B der einfallende Strahl, B O der reflectirte. Der Spiegel komme in die Lage M′ N′, so daß er um den Winkel M B M′ von seiner früheren Position abweicht, so wird jetzt B O′ die Richtung des reflectirten Strahles werden und dabei ist W. O B O′ = 2 M B M′. Denn es ist W. N B O = M B A, N′B O′ = M′B A, mithin

N B O — N′B O′ = M B A — M′B A, d. h. O B O′ — N B N′ = M B M′,

oder wegen N B N′ = M B M′, O B O′ = 2 M B M′. Dadurch ist die am angeführten Orte gemachte Berechnung begründet.

Das Zauberperspectiv, der Opern- und Wallgucker beruhen auch auf den Gesetzen der Reflexion des Lichtes, haben aber bis jetzt keine ernste Anwendung gefunden.

241. Wenn die von einem Spiegel reflectirten Strahlen auf einen zweiten Spiegel auffallen, so werden sie natürlich so von ihm zurückgeworfen, als wenn sie von einem Gegenstande kämen, der sich an der Stelle des Bildes im ersten Spiegel befindet; dasselbe geschieht mit den vom zweiten Spiegel reflectirten Strahlen, wenn sie auf einen dritten auffallen, und so fort. Steht daher ein Gegenstand zwischen zwei parallelen Spiegeln, so entsteht von ihm durch wiederholte Reflexionen eine unendliche Anzahl Bilder, wovon aber nur die ersteren eine solche Lichtstärke haben, daß sie gesehen werden können. Sind die Ebenen der Spiegel gegen einander geneigt, so geben sie von einem dazwischen stehenden Gegenstande nur eine endliche Anzahl Bilder: denn damit die von dem einen Spiegel reflectirten Strahlen im andern ein Bild geben, muß das Bild im erstgenannten Spiegel auf derselben Seite liegen, welcher die spiegelnde Fläche des andern zugekehrt ist, eine Bedingung, welche nur $(n - 1)$mal Statt findet, wenn der Neigungswinkel der Spiegel $\frac{360}{n}$ Grade enthält. Deßhalb geben solche Winkelspiegel von einem Gegenstande auch nur $(n - 1)$ Bilder. Diese erscheinen symmetrisch rings um die Axe der Spiegel, und gewähren nicht selten einen sehr überraschenden Anblick, den man sich durch eine artige Vorrichtung, nämlich durch das sogenannte Kaleidoskop (Gilb. Ann. 59. 341) verschaffen kann.

242. Auf den Gebrauch der Planspiegel gründet sich ein directer Beweis, den Fresnel für die Realität der Interferenz des Lichtes gegeben hat, bei welchem zur Entfernung jedes Zweifels ungebeugtes Licht sich gegenseitig vernichtet. Damit nämlich eine solche Interferenz zu Stande komme, müssen, wie eine leichte Ueberlegung lehrt, die Lichtstrahlen von einerlei Lichtquellen kommen, unter einem sehr spitzigen Winkel zusammentreffen, und ihre Wegdifferenz darf nicht bedeutend seyn. Diesen Bedingungen genügt man, wenn man von einem leuchtenden Puncte auf zwei unter einem sehr stumpfen Winkel gegen einander geneigte Spiegel Strahlen fallen läßt. Die nach der Reflexion einander durchkreuzenden Strahlen bringen ein Interferenzphänomen hervor, welches man wahrnimmt, wenn man das mit einem Vergrößerungsglase versehene Auge in einiger Entfernung vor die Durchschnittslinie der Spiegelflächen bringt, und gegen die Mitte der Ver-

bindungslinie der zwei Bilder des leuchtenden Punctes hinsieht, die durch die Spiegel erzeugt werden. Man erblickt da im weißen Lichte eine Reihe heller Streifen, die mit der Durchschnittslinie der Spiegelflächen parallel laufen, und zwischen welchen, in nahe gleichen Abständen von einander, sich Linien befinden, wovon die mittleren scharf begrenzt und dunkel, die entfernteren aber minder scharf begrenzt und farbig erscheinen, und immer heller werdend sich allmälig in dem lichten Grunde des Phänomens verlierem. Im homogenen Lichte ist die Anzahl der dunklen Linien weit beträchtlicher als im weißen, und die der Mitte nahe stehenden sind intensiv schwarz; ändert man die Farbe des Lichtes, vom rothen gegen das violette fortschreitend, so rücken die dunklen Linien immer näher an einander; ihre Abstände sind bei rothem Lichte fast noch einmal so groß, als bei violettem. Hiernach erklärt sich die Beschaffenheit der Erscheinung im weißen Lichte von selbst; diese ist nämlich das Resultat der Uebereinanderlagerung der Erscheinungen, welche die einzelnen farbigen Lichtsorten, die im weißen Lichte enthalten sind, für sich hervorbringen würden; in der Mitte kommt Licht von allen Farben zusammen und erzeugt den weißen Streifen, den man da sieht; zu beiden Seiten desselben fallen auch die benachbarten dunklen Linien der intensivsten Farben nahe an einander; in einiger Entfernung dagegen mengen sich die hellen und dunklen Theile der verschiedenen Farben dergestalt, daß die Undeutlichkeit immer größer wird, und man keine Abstufungen der Lichtstärke und keine Färbung mehr gewahr wird. Unter übrigens gleichen Umständen nimmt die Breite der Streifen zu, wenn der Winkel der Spiegel stumpfer wird; eben so, wenn der Beobachter sich von den Spiegeln entfernt. In jeder Hinsicht, sowohl dem Erfolge, wie auch der Erklärung nach, stimmt das hier beschriebene Phänomen mit demjenigen überein, welches die Beugung des von einem leuchtenden Puncte ausgehenden Lichtes an zwei neben einander befindlichen engen Spalten in der Mitte des Gesichtsfeldes gewährt, wenn die scheinbare Entfernung der Spalten von einander der scheinbaren Distanz der Bilder des leuchtenden Punctes bei dem Versuche mit den Spiegeln gleich kommt, und die Beobachtung ebenfalls mittelst des Vergrößerungsglases geschieht.

Die zu diesem Versuche dienenden Spiegel sollen, wenn auch nicht aus Metall, doch wenigstens aus schwarzem Glase verfertiget seyn; indessen kann man sich auch mit geschwärzten Glasplatten behelfen, wenn nur die spiegelnden Flächen gehörig eben sind. Um den Versuch mit Bequemlichkeit und Sicherheit des Erfolges anstellen zu können, müssen sich die Spiegel in einer Fassung befinden, die den Neigungswinkel derselben ein wenig zu ändern gestattet. Da die Kanten, mittelst welcher die Spiegel an einander grenzen, stets gut an einander passen müssen, so ist nebst einer Vorrichtung zur Regulirung der Kanten auch noch erforderlich, daß die Drehungsaxe des Spiegels, der zum Behufe der Aenderung des Winkels bewegt wird, genau mit seiner Kante zusammenfalle, damit diese Kante während der Drehung des Spiegels nicht vor oder hinter die Kante des andern trete. Bringt man die beiden Spiegelflächen zuerst genau in eine Ebene, was man erreicht hat, wenn sie wie ein einziger Spiegel wirken, mithin keine Spur

einer Verdoppelung der Bilder zu bemerken ist, so darf man nur den einen Spiegel äußerst wenig gegen den andern neigen, um eine brauchbare Stellung der Spiegel zu erhalten. Ueberdieß ist es räthlich, den Einfluß jeder Veränderung, die man an der Stellung der Spiegel vornimmt, auf das Phänomen sogleich mittelst des Vergrößerungsglases zu prüfen, wodurch man die Handgriffe, die zur Erzielung der höchsten Reinheit nöthig sind, am besten kennen lernt. Als leuchtender Punct kann, zumal wenn die Beobachtung, wie es bei Messungen nöthig ist, längere Zeit dauern soll, das Sonnenbild im Brennpuncte einer mikroskopischen Linse dienen, der man mittelst eines Spiegels Licht zusendet. Der Umstand, daß die Interferenzlinien der Durchschnittslinie der Spiegelflächen parallel sind, gestattet, statt eines leuchtenden Punctes, eine dieser Durchschnittslinie parallele leuchtende Linie anzuwenden. Die von jedem Puncte erzeugten Linien fallen in einander und verstärken sich wechselseitig. Hiedurch erhält man nicht nur mittelst Kerzen- oder Lampenlichtes eine sehr deutliche Darstellung des Interferenzphänomens, sondern man ist auch im Stande, bei Anwendung des Sonnenlichtes, dasselbe auf eine weiße Tafel mit der größten Schärfe zu projiciren. Jedenfalls ist es vortheilhaft, das Licht sehr schief auf die Spiegel fallen zu lassen. Will man dieses Phänomen in homogenem Lichte betrachten, so zerlege man das mittelst eines Heliostates durch eine Spalte am Fensterladen geleitete Licht mit Hülfe eines Prisma's, und fange das Farbenbild mit einem Schirme auf, an welchem sich eine schmale Spalte befindet, die nur Strahlen von einer bestimmten Farbe auf die Spiegel gelangen läßt. Um jedoch das Beugungsphänomen, welches letztere Spalte erzeugt, wegzuschaffen, ist es gut, vor dieselbe ein cylindrisches Sammelglas zu setzen. Auch die Durchkreuzung directer Lichtstrahlen mit reflectirten bringt Interferenz hervor. Ist nämlich S ein leuchtender Punct oder eine leuchtende Linie, wovon ein Strahl SH, Fig. 283, sehr schief auf den geschwärzten Spiegel MN fällt und nach HI reflectirt wird, so durchkreuzt derselbe jeden vor dem Spiegel vorbeigehenden Strahl SI, und modificirt dessen Intensität. Das Interferenzphänomen läßt sich gut mittelst eines stark vergrößernden Glases beobachten, das man dem Spiegel gehörig nahe bringt. (Lloyd in Pogg. 45. 95.)

243. Die sphärisch gekrümmten Spiegel sind entweder Concav- oder Convexspiegel, je nachdem die hohle oder die erhabene Seite spiegelt. Es sey MN (Fig. 284) der Durchschnitt eines sphärischen Hohlspiegels, mit einer durch den Mittelpunct C seiner Krümmung gelegten Ebene. Ist A ein leuchtender Punct vor dem Spiegel in dieser Ebene, so wird er einen Lichtkegel auf ihn senden, wovon hier nur zwei Strahlen betrachtet werden sollen, nämlich der durch den Mittelpunct C gehende ACD, und ein anderer AE. Da das Einfallsloth auf D der Halbmesser CD ist, so muß ACD nach DCA zurückgeworfen werden; diesen in sich selbst zurückkehrenden Strahl nennt man den Hauptstrahl des Punctes A. Der andere Strahl AE, zu dem das Einfallsloth EC gehört, bekommt durch Reflexion die Richtung EF, welche durch den Winkel CEF = CEA bestimmt wird. Die Lage des reflectirten Strahles EF gegen den Hauptstrahl AD findet man, in der Voraussetzung, daß die Dimensionen des von den Strahlen getroffenen Stückes der spiegelnden Fläche gegen den Halbmesser derselben sehr klein sind, mithin der Winkel DCE

sehr klein ist, auf folgende Weise: Es sey CD = 2p, AD = a, FD = α. Da der Winkel AEF durch EC halbirt wird, so hat man im Dreiecke AEF

$$AE : FE = AC : CF.$$

Aber man kann, wegen der Kleinheit des Winkels DCE, ohne merklichen Fehler AE und AD, ferner FE und FD als gleiche Linien behandeln, mithin auch AE = a und FE = α setzen; dem gemäß gibt diese Proportion

$$a : \alpha = a - 2p : 2p - \alpha,$$

mithin

$$a (2p - \alpha) = \alpha (a - 2p), \text{ oder } ap + \alpha p = a\alpha,$$

woraus durch Division mit $ap\alpha$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} \text{ folgt.}$$

Dieser Gleichung gemäß ist

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \text{ und } \alpha = \frac{ap}{a - p}.$$

244. Aus dieser Gleichung leitet man leicht folgende, jedoch nur unter obiger Voraussetzung geltende Gesetze für sphärische Hohlspiegel ab: 1) Für $a = \infty$ ist $\alpha = p$, d. i. Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Puncte auf den Hohlspiegel auffallen, mithin parallel sind, vereinigen sich nach der Reflexion im Hauptstrahle in einer dem halben Radius gleichen Entfernung vom Spiegel. Dieser Vereinigungspunct paralleler Strahlen heißt **Brennpunct** (focus), seine Entfernung vom Spiegel (Vereinigungsweite) **Brennweite**, weil man in diesem Puncte brennbare Körper mittelst des Sonnenlichtes anzünden kann, ein Umstand, der den Hohlspiegeln auch den Namen **Brennspiegel** erworben hat. 2) Je kleiner a, desto größer wird α, d. i. je mehr sich der leuchtende Punct dem Spiegel nähert, oder je divergirender die Strahlen auffallen, desto mehr entfernt sich der Vereinigungspunct der Strahlen vom Spiegel. Stets aber ist für $a > 2p$, $\alpha < 2p$, aber zugleich $\alpha > p$. 3) Für $a = 2p$, wird auch $\alpha = 2p$, mithin fällt der Vereinigungspunct der reflectirten Strahlen mit dem leuchtenden Puncte zusammen, wenn sich letzterer im Mittelpuncte der Krümmung befindet. 4) Ist $a < 2p$ aber doch $a > p$, so ist $\alpha > 2p$, d. h. befindet sich der leuchtende Punct innerhalb des Mittelpunctes der Krümmung, so fällt der Vereinigungspunct der Strahlen außer diesen Mittelpunct. 5) Für $a = p$ wird $\alpha = \infty$, mithin vereinigen sich die Strahlen, welche vom Brennpuncte ausgehen, nach ihrer Reflexion erst in einer unendlich großen Entfernung vom Spiegel, d. h. sie werden gleichlaufend. 6) Wird $a < p$, so bekommt α einen negativen Werth, d. h. steht der leuchtende Punct innerhalb der Brennweite, so werden seine Strahlen so reflectirt, als kämen sie von einem Puncte hinter dem Spiegel her, oder sie bleiben divergirend.

Diese Resultate gelten nicht für Strahlen, bei welchen die Bedingung fehlt, daß der zum Einfallspuncte gehörende Halbmesser mit dem Hauptstrahle einen sehr kleinen Winkel bildet. Unter diesen treffen nur diejenigen, welche gegen den Hauptstrahl einerlei Neigung haben, in

einem Puncte des letzteren Strahles zusammen; es hängt nämlich die Lage des Punctes F, in welchem der Hauptstrahl A D von dem reflectirten Strahle E F durchschnitten wird, von der Größe des Winkels E C D und folglich von jener des Winkels E A D ab. Aus obiger Proportion läßt sich zeigen, daß unter einerlei Umständen D F abnimmt, wenn E weiter von D wegrückt. Es wird daher E F von einem unendlich nahe liegenden, in der Ebene E A D reflectirten Strahle oberhalb A D geschnitten; alle Durchschnittspuncte je zweier benachbarten in einerlei Ebene reflectirten Strahlen geben eine Linie von eigener Krümmung, die man caustische Linie nennt, und alle caustischen Linien zusammen bestimmen eine krumme Fläche, welche caustische Fläche heißt. In der Nähe derselben ist die Intensität des Lichtes am größten; man kann dieß an der herzförmigen Linie sehen, die sich innerhalb eines cylindrischen Gefäßes oder eines Ringes zeigt, wenn diese Gegenstände stark beleuchtet sind. Im Sinne der Undulationstheorie ist ein Brennpunct ein Punct, worin Wellentheile, welche zugleich von der Lichtquelle ausgegangen sind, gleichzeitig, mithin in übereinstimmenden Phasen zusammentreffen. Ein solcher ist der Brennpunct eines nach einer Parabel gekrümmten Spiegels für Strahlen, die der Axe derselben parallel sind, wie sich aus der Grundeigenschaft dieser Curve leicht zeigen läßt; desgleichen der eine Brennpunct einer Ellipse für Strahlen, die von dem andern Brennpuncte ausgehen und an dem Umfange dieser krummen Linie reflectirt werden.

245. Die durch Reflexion zu einem Puncte vereinigten Strahlen gehen davon so aus, als wäre dort der ursprünglich leuchtende Punct, man muß daher an dieser Vereinigungsstelle das Bild des leuchtenden Punctes sehen; ja selbst solche Strahlen, die durch Reflexion nur eine Richtung erhalten, als kämen sie von demselben Puncte her, wenn sie sich auch nie vereinigt haben, müssen in uns die Empfindung erregen, als wenn sie wirklich davon herkämen, und deßhalb sieht man auch in diesem scheinbaren Vereinigungspuncte ein Bild. Aus diesem folgt, daß durch einen Hohlspiegel immer ein Bild entsteht, wenn sich der leuchtende Punct nicht in dem Brennpuncte befindet, und daß dieses Bild vor dem Spiegel erscheint, so lange der leuchtende Punct außer der Brennweite ist, hingegen hinter demselben, wenn er sich innerhalb der Brennweite befindet. Daß durch diese Gesetze zugleich der Ort des Bildes eines ausgedehnten Gegenstandes gegeben ist, versteht sich wohl von selbst.

246. So lange das Bild eines Gegenstandes vor dem Hohlspiegel erscheint, ist es immer verkehrt; es wächst an Ausdehnung, so wie es sich vom Krümmungsmittelpuncte des Spiegels entfernt, und kann daher größer oder kleiner seyn, als der Gegenstand. Ist nämlich A B (Fig. 285) der Durchschnitt eines Hohlspiegels, C der Mittelpunct seiner Krümmung, A B ein leuchtender Gegenstand; so erscheint A in dem Puncte a des Hauptstrahles A C D, und B im Puncte b des Hauptstrahles B C E; die Bilder der zwischen A und B gelegenen Puncte liegen zwischen a und b, so daß b a das ganze Bild von A B vorstellt, welches offenbar vor dem Spiegel M N und verkehrt erscheint. Zur Bestimmung der Größe von a b kann man ohne Fehler annehmen

$$ab : AB = Ca : CA \text{ oder } \frac{ab}{AB} = \frac{Ca}{CA}.$$

Sobald das Bild hinter dem Spiegel erscheint, ist es immer aufrecht und übertrifft den Gegenstand an Größe; denn für dieselbe Bedeutung von MN und C in Fig. 286, und unter der Voraussetzung, daß AB der innerhalb der Brennweite befindliche Gegenstand sey, erscheint das Bild a von A hinter dem Spiegel im Hauptstrahle CAa, und das von B im Puncte b des Hauptstrahles CBb, mithin ist ab das ganze Bild von AB, es steht offenbar aufrecht und ist größer als AB. Von diesem kann man sich auch auf dem Erfahrungswege überzeugen, indem man eine brennende Kerze einem Hohlspiegel immer mehr und mehr nähert, und ihr Bild mit weißem Papiere auffängt.

247. Nimmt man in dem für einen Hohlspiegel entwickelten Ausdruck p negativ, d. h. schreibt man — p statt p, so entsteht daraus die Formel

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right),$$

aus der man die Lage des von einem Converspiegel reflectirten Strahles gegen seinen Hauptstrahl ableiten kann. Man ersieht daraus leicht, daß für jeden positiven Werth von a der Werth von α verneinend ausfällt, und daß daher Strahlen, die von einem leuchtenden Puncte auf einen Converspiegel fallen, so reflectirt werden, als kämen sie von einem Puncte hinter dem Spiegel. In diesem Puncte erscheint daher das Bild jenes Punctes. Da α desto größer wird, je größer p und a ist, so muß die Entfernung dieses Bildes vom Spiegel desto größer ausfallen, je weiter der leuchtende Punct vom Spiegel entfernt und je größer der Krümmungshalbmesser des Spiegels ist.

248. Das Bild eines leuchtenden Gegenstandes in einem Converspiegel muß diesem gemäß auch hinter der Spiegelfläche entstehen. Es erscheint aufrecht und verkleinert; letzteres desto mehr, je näher es am Centrum des Spiegels erscheint. Denn ist MN (Fig. 287) ein Durchschnitt eines Converspiegels, C der Mittelpunct seiner Krümmung, AB ein leuchtender Gegenstand, und erscheint das Bild von A im Puncte a des Hauptstrahles AB, das von B im Puncte b seines Hauptstrahles BC; so kann ab das Bild von AB vorstellen, und man kann die Proportion annehmen

$$ab : AB = aC : AC.$$

249. Mehr zur Unterhaltung, als zum wissenschaftlichen Behufe hat man cylindrische und conische Spiegel. Erstere können der Höhe nach als ebene, der Breite nach als convexe oder concave Spiegel angesehen werden, je nachdem die erhabene oder hohle Fläche des Cylinders spiegelt, und deßhalb erscheinen in ihnen die Bilder der Gegenstände in natürlicher Länge, aber in verjüngter oder vergrößerter Breite. Conische sind der Höhe nach plan, der Breite nach aber convex, und zwar gegen die Spitze des Kegels immer mehr; daher erscheinen in ihnen die Bilder in natürlicher Höhe, aber mit stets nach oben zu abnehmender Breite. Es ist begreiflich, daß, so wie durch diese Spiegel die Bilder wohl proportionirter Gegenstände verzogen und verunstaltet erscheinen, die der nach einer gewissen Regel verun-

stalteten vom schönsten Bau gesehen werden können. Hierauf beruhen die sogenannten katoptrischen Anamorphosen. (Siehe: *Jac. Leupold anamorphosis mechanica nova.* Leipzig, 1714. Schmidt's analytische Optik. Göttingen, 1834. S. 296.)

Die Gesetze der Reflexion des Lichtes und mehrere Eigenschaften der Spiegel, insbesondere die Brennspiegel, waren bereits den Alten bekannt. Eine gründliche Darstellung dieser Lehre hat man aber erst seit den letzteren Jahrhunderten.

Viertes Kapitel.

Gewöhnliche Brechung des Lichtes.

250. Wenn ein Lichtstrahl auf einen durchsichtigen Körper fällt, so wird, besondere erst später zu betrachtende Fälle ausgenommen, ein Theil desselben reflectirt, und geht in das vorige Mittel zurück. Die Gesetze, nach welchen dieses geschieht, wurden, in so fern letzt genanntes Mittel nach allen Richtungen einerlei Elasticität besitzt, im vorhergehenden Kapitel abgehandelt. Ein anderer Theil des Lichtes aber dringt (wenigstens im Allgemeinen) in den durchsichtigen Körper ein und wird nach Gesetzen darin fortgepflanzt, die jetzt erörtert werden sollen. Es hat sich bereits an einem früheren Orte (208) die Erfahrung dargeboten, daß ein zusammengesetzter Strahl hiebei in die verschiedenen farbigen Strahlen zerlegt wird, aus denen er besteht. Allein außerdem muß noch bemerkt werden, daß in gewissen krystallisirten, überhaupt in solchen durchsichtigen Körpern, die nicht nach allen Richtungen einerlei Elasticität zeigen, ein eindringender Strahl in zwei gesonderte Strahlenbündel zerfällt, also zwei gebrochene Strahlen liefert, während in den übrigen Medien aus dem einfallenden Strahle nur ein solcher Bündel entsteht. Dieß veranlaßt die einfache Brechung des Lichtes, welche die gewöhnlich vorkommende ist, von der doppelten Brechung zu unterscheiden. Das gegenwärtige Kapitel handelt nur vor der ersteren, und es wird, wenn von dem einfallenden Lichte die Rede ist, vor der Hand vorausgesetzt, daß dieses einfaches oder homogenes, d. h. nicht in andere Strahlen zerlegbares Licht sey, wofür man, wenn die Farbe des Lichtes nicht näher bezeichnet ist, Licht von mittlerer Brechbarkeit (gelbes Licht) annehmen mag. Der Winkel, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe, d. i. mit der Senkrechten im Einfallspuncte auf die Trennungsfläche der an einander grenzenden Medien macht, heißt der Einfallswinkel, der Winkel des gebrochenen Strahles mit dem Einfallslothe der Brechungswinkel. Die Ebene des ersteren Winkels heißt die Einfallsebene, jene des letzteren die Brechungsebene.

251. Die Gesetze, nach welchen sich die gewöhnliche Brechung des Lichtes richtet, hat man seit langer Zeit auf dem Wege der Er-

fahrung ausgemittelt. Sie sind folgende: 1) Der gebrochene Strahl liegt in der Einfallsebene, und rücksichtlich des einfallenden auf der entgegengesetzten Seite des Einfallslothes. 2) Für dasselbe brechende Mittel ist das Verhältniß zwischen den Sinussen des Einfalls- und Bre- Brechungswinkels beständig und unabhängig von der Neigung des einfallenden Strahles gegen das Einfallsloth. Ist daher der Einfallswinkel $= a$, ferner der Brechungswinkel $= b$, so ist $\sin a : \sin b = n : 1$ oder $\frac{\sin a}{\sin b} = n$; wo n eine Zahl bedeutet, die immer denselben Werth hat, so lange sich das Mittel, aus welchem der Strahl kommt, und dasjenige, wohin er geht, nicht ändert. Man nennt sie den Exponenten des Brechungsverhältnisses für beide Mittel, oder kürzer den Brechungsinder auch den Brechungsexponenten. 3) Ist n der Brechungsinder für den Uebergang des Lichtes aus einem Mittel A in ein anderes B, d. h. verhält sich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie $n : 1$, so ist für den Uebergang des Lichtes aus dem Medium B in A das Brechungsverhältniß $= 1 : n$, mithin der Brechungsinder $= \frac{1}{n}$, d. h. der reciproke Werth desjenigen, der bei dem umgekehrten Gange des Lichtes Statt findet. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß bei dem Durchgange des Lichtes durch einen von parallelen Ebenen begrenzten Körper, welcher beiderseits von einerlei Mittel umgeben ist, der aus diesem Körper tretende Strahl stets dem eintretenden parallel ist. 4) Ist für den Uebergang des Lichtes aus einem Medium A in ein anderes B der Brechungsexponent $= n$, und für den Uebergang von diesem Medium B in ein drittes C der Brechungsexponent $= m$, so besteht für den unmittelbaren Uebergang des Lichtes aus dem Medium A in C der Brechungsexponent $m n$. Auch dieses folgt aus der Erfahrung, daß ein Lichtstrahl, der durch zwei Schichten verschiedener Mittel, deren Grenzflächen parallel sind, von einem Medium ausgehend, wieder in dieses gelangt, seiner ursprünglichen Richtung parallel austritt. 5) Erhält für eine gewisse Größe des Einfallswinkels der Sinus des Brechungswinkels, in Folge des bestehenden Brechungsverhältnisses, einen die Einheit übersteigenden Werth, in welchem Falle der Brechungswinkel imaginär wird, so findet auch kein Uebergang des Lichtes in das zweite Mittel Statt, sondern dasselbe kehrt nach dem Reflexionsgesetze in das erste Medium zurück. Man sagt dann, das Licht erleide eine totale Reflexion. Da, wenn a der Einfalls-, b der Brechungswinkel, n der Brechungsinder ist, die Gleichung $\sin b = \frac{1}{n} \sin a$ besteht, und $\sin a$ nicht größer werden kann als die Einheit, so kann dieser Fall nur dann eintreten, wenn $n < 1$ ist. Dieß vorausgesetzt, wird bei einem Einfallswinkel, dessen Sinus größer als n ist, $\sin b > 1$. Für $\sin a = n$ ergibt sich $\sin b = 1$, mithin $b = 90°$. Bei diesem Werthe von a, der die Grenze zwischen den Einfallswinkeln ist, bei welchen Brechung und totale Reflexion obwal-

tet, streift der gebrochene Lichtstrahl längs der Trennungsfläche der beiden Mittel hin. Wenn $n < 1$ ist, so ist stets $\sin b > \sin a$, mithin auch der Brechungswinkel b größer als der Einfallswinkel a (Fig. 288). In diesem Falle sagt man, die Brechung des Lichtes erfolge vom Einfallslothe, und das Mittel, aus dem das Licht kommt, breche dasselbe schwächer als jenes wohin es geht. Es findet demnach die totale Reflexion des Lichtes nur bei dessen Uebergang von einem schwächer brechenden Mittel in ein stärker brechendes Statt. Ist aber $n > 1$, mithin $a > b$ (Fig. 289), so heißt es, die Brechung des Lichtes erfolge zum Einfallslothe. Von zwei Mitteln, welche bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dritten Mittel in selbe, es beide zum Einfallslothe brechen, wird jenes das stärker brechende genannt, dem der größere Brechungsinder entspricht.

Bei dem Uebergange aus dem leeren Raume in ein materielles Mittel erfolgt Brechung des Lichtes zum Einfallslothe; ein Gleiches geschieht bei dem Uebergange des Lichtes aus Luft in Wasser, Glas ꝛc. Doch ist der Satz, den man ehemals häufig aussprechen hörte, »bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dünnen Mittel in ein dichteres werde es zum Einfallslothe, mithin bei dem Uebergange aus einem dichteren in ein dünneres vom Einfallslothe gebrochen,« unrichtig, und kann nur zugelassen werden, wenn beide Mittel dieselbe materielle Beschaffenheit und einerlei Aggregationszustand haben, und ihre optische Heterogeneität lediglich der Verschiedenheit ihrer Dichte verdanken. Brennbare Körper zeichnen sich vor anderen durch ihr großes Lichtbrechungsvermögen aus, wie z. B. ätherische Oehle, Weingeist, Aether, Schwefelkohlenstoff, der Diamant, dessen Brennbarkeit darnach, ehe seine chemische Natur bekannt war, vermuthet wurde.

Das Gesetz der einfachen Brechung des Lichtes kennt man erst seit der Mitte des 17. Jahrhunderts. Es wird von Einigen dem Descartes, von Anderen dem Snellius zugeschrieben.

252. Den angeführten Gesetzen der einfachen Brechung gemäß läßt sich, wenn der Brechungsinder n gegeben ist, aus der Richtung des einfallenden Strahles jene des gebrochenen und umgekehrt, mittelst einer leichten geometrischen Construction finden. Wir wollen hier annehmen, die Fläche, in welcher beide Medien an einander grenzen, sey eine Ebene; wäre dieß nicht der Fall, so setze man an die Stelle der Ebene, von der im Folgenden die Rede ist, diejenige, durch welche die krumme Fläche in dem Einfallspuncte berührt wird. Dieß vorausgesetzt sey B (Fig. 290) der Punct, in welchem der einfallende Strahl die Trennungsebene MN beider Medien trifft. Man beschreibe in der Einfallsebene aus B als Mittelpunct mit Halbmessern BF, BG, die sich zu einander verhalten wie n zu 1, im Innern der brechenden Substanz Halbkreise. Ist nun AB die Richtung des einfallenden Strahles, so verlängere man sie, bis sie den größeren Halbkreis in H schneidet, ziehe zu diesem Puncte die Tangente HK, welche der MN in K begegne, und von letzterem Puncte zu dem andern Halbkreise die Tangente KL. Die von B durch den Berührungspunct L gezogene Gerade BLO gibt die Richtung des dem Strahle SA entsprechenden gebrochenen Strahles an. Daß dieselbe wirklich mit dem angeführten

Brechungsgesetze im Einklange steht, erhellet auf folgende Weise: Es sey PBQ das Einfallsloth, so ist wegen der rechten Winkel bei H und L der Einfallswinkel ABP = BKH und der Brechungswinkel QBO = BKL. Die Dreiecke BKH, BKL geben

sin BKH : 1 = BH : BK; *sin* BKL : 1 = BL : BK, mithin
sin BKH : *sin* BKL = BH : BL oder
sin ABP : *sin* QBO = BF : BG = n : 1.

Es hat also hier wirklich der Sinus des Brechungswinkels zu jenem des Einfallswinkels das gehörige Verhältniß. Umgekehrt erhält man zu jeder Richtung BO des gebrochenen Strahles die des einfallenden, wenn man zu dem Durchschnittspuncte L der BO mit dem kleinen Halbkreise die Tangente LK zieht, die den Punct K in der MN anzeigt, von welchem die Tangente KH zum größeren Halbkreise auszugehen hat, deren Berührungspunct H die Richtung des einfallenden Strahles ABH bestimmt. Ist der Brechungsexponent kleiner als 1, also BF < BG, so wird, sobald der Punct K, in welchem die dem einfallenden Strahle zugehörende Tangente HK die MN schneidet, zwischen F und G fällt, die Brechung unmöglich, und es stellt sich die totale Reflexion ein.

253. Um den Hergang der gewöhnlichen Brechung des Lichtes aus der undulirenden Bewegung des Aethers zu erklären, haben wir bloß die bereits bei der Erklärung der Reflexion (237) ins Werk gesetzten Principien auf den vorliegenden Fall zu übertragen. Es seyen wie dort (237) Aa, Ab, Ac,... u. s. w. die auf die ebene Trennungsfläche MN, Fig. 291, beider Medien einfallenden Strahlen, mithin a, b, c,... Mittelpuncte von Wellen, einerseits in Bezug auf das frühere Medium des Lichtes, andererseits in Bezug auf das neue. Erstere geben, wie an dem angeführten Orte gezeigt wurde, das reflectirte Licht; letztere ziehen wir gegenwärtig in Erwägung. Die Verschiedenheit beider Mittel liegt in der verschiedenen Geschwindigkeit, mit welcher sie einfaches Licht von gegebener Farbe fortpflanzen. Angenommen, daß sich die Geschwindigkeit des Lichtes in dem Mittel, das den einfallenden Strahl enthält, zu der Geschwindigkeit des Lichtes in dem brechendem Mittel verhalte, wie n : 1, so werden die Halbmesser X, Y, Z,... mit welchen innerhalb des brechenden Mittels, aus den Mittelpuncten a, b, c,... die Kugelflächen zu beschreiben sind, deren gemeinschaftliche Berührungsfläche die Wellenfläche des gebrochenen Lichtes gibt, durch die Gleichungen

$$\frac{Aa}{n} + X = \frac{Ab}{n} + Y = \frac{Ac}{n} + Z \text{ ꝛc.}$$

dargeboten; denn die Zeiten, binnen welchen das Licht seine Wege in den verschiedenen Mitteln zurücklegt, werden durch die Quotienten dieser Wege mit den entsprechenden Geschwindigkeiten gemessen. Es ist klar, daß die Kugelflächen, deren Mittelpuncte dem Puncte a unendlich nahe liegen, einander in einem Puncte der Ebene begegnen, die durch Aa senkrecht gegen MN gelegt ist, und dieser Punct ist zugleich der Berührungspunct der Wellenfläche und der aus a beschriebenen

Kugelfläche. Es sey x dieser Berührungspunct und b, in der Einfallsebene des Strahles Aa, unendlich nahe an a, so besteht die Gleichung $\frac{Aa}{n} + ax = \frac{Ab}{n} + bx$, aus der $Ab - Aa = n(ax - bx)$ folgt. Man mache $Au = Aa$ und $xv = xb$, und ziehe au, bv, so ist dieser Gleichung gemäß

$$bu = n.ah, \text{ daher } bu : av = n : 1.$$

Man darf hier, wegen der Kleinheit der Winkel aAb, axb, die Winkel u, v als rechte betrachten, und erhält dadurch mittelst der Dreiecke aub, avb:

$$ab : bu = 1 : \sin bau, \; ab : av = 1 : \sin abv, \text{ mithin}$$

$bu : av = \sin bau : \sin abv$ daher auch $\sin bau : \sin abv = n : 1$. Errichtet man PQ in a auf MN senkrecht, so ist der Winkel bau gleich dem Einfallswinkel AaP und abv gleich dem Brechungswinkel xaQ, folglich

$$\sin AaP : \sin xaQ = n : 1,$$

welches das Gesetz der gewöhnlichen Brechung des Lichtes ist.

Die Brechung erfolgt zum Einfallslothe, wenn $n > 1$ und vom Einfallslothe, wenn $n < 1$ ist. Im ersten Falle pflanzt also das brechende Mittel die undulirende Bewegung langsamer, im zweiten schneller fort, als das ursprüngliche Mittel des Lichtstrahles.

254. Die Gestalt der durch einen leuchtenden Punct erzeugten Wellenfläche nach der Brechung an der ebenen Grenzfläche zweier einfach brechenden Mittel weicht von der Kugelform ab, und kann auf dem im Vorhergehenden angedeuteten Wege mittelst geeigneter analytischer Methoden berechnet werden. Ist jedoch der leuchtende Punct von der brechenden Ebene so weit entfernt, daß alle von ihm auf dieselbe fallenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen, d. h. handelt es sich lediglich um die Brechung einer ebenen Welle, so ist leicht einzusehen, daß die gebrochene Welle gleichfalls eine ebene Gestalt haben werde, und es kann die Lage derselben nach den angeführten Principien ausgemittelt werden. Es sey AZ, Fig. 292, der Durchschnitt einer ebenen Welle mit einer Ebene, die auf ihr und auf der brechenden Ebene senkrecht steht, so beruht die Fortpflanzung der Welle AZ auf dem Fortschreiten der in allen Puncten derselben, wie A, A', A'' ... gleichzeitig, und daher auch mit übereinstimmenden Phasen Statt findenden Vibrationen. Man hat hier bloß auf die Richtungen zu sehen, nach denen die einander unterstützenden Schwingungen weiter gehen, und kann daher annehmen, daß längs der auf AZ senkrechten Geraden AB, A'B', A''B'' u. s. w. Schwingungen fortgehen, die in B, B', B'' ... auf der Trennungsfläche der Mittel Erschütterungen erregen, in Folge deren diese Puncte in das brechende Mittel kugelförmige Wellen senden. Es seyen X, X', X'', ... die Halbmesser der letzteren in einem bestimmten Augenblicke, so bestehen die Gleichungen $\frac{AB}{n} + X = \frac{A'B'}{n} + X' = \frac{A''B''}{n} + X''$ u. s. w., wobei n die frühere Bedeutung hat (253). Aus diesen Gleichungen folgt

$A'B' - AB = n(X - X')$, $A''B'' - A'B' = n(X' - X'')$ u. s. w. Es verhalten sich demnach die Unterschiede jener Halbmesser wie die Unterschiede der Strahlen AB, $A'B'$, $A''B''$ ꝛc., woraus nothwendig hervorgeht, daß die stetige Folge der benachbarten Durchschnittspuncte aller so möglichen gleichzeitigen Kugelwellen eine Ebene darstellt, die sämmtliche Kugelflächen gemeinschaftlich berührt. Um die Lage dieser Ebene zu finden, ziehe man zu AZ im brechenden Mittel die Parallele KH, verlängere AB bis H, beschreibe aus B mit einem Halbmesser, der sich zu BH verhält wie $1 : n$, einen Kreis, und ziehe zu demselben aus K die Tangente KL. Diese ist der Durchschnitt der gebrochenen Welle, und der zum Berührungspuncte L gehende Halbmesser BL ist der aus AB entspringende gebrochene Strahl. In der That verlängert man $A'B'$ bis H', und zieht man $B'L'$ auf KL senkrecht, so hat man einerseits $BK : B'K' = BH : B'H'$, andererseits $BK : B'K' = BL : B'L'$, mithin $BL : B'L' = BH : B'H'$. Aber es ist

$$BL : BH = 1 : n, \text{ oder } BL = \frac{BH}{n}, \text{ mithin auch } B'L' = \frac{B'H'}{n}.$$

Dem gemäß ergibt sich

$$\frac{AB}{n} + BL = \frac{AB + BH}{n} = \frac{AH}{n}; \quad \frac{A'B'}{n} + B'L' = \frac{A'B' + B'H'}{n} = \frac{A'H'}{n}$$

Aber es ist $AH = A'H'$, folglich ist auch $\frac{AB}{n} + BL = \frac{A'B'}{n} + B'L'$. Betrachtet man daher BL als den Halbmesser X, so ist $B'L' = X'$, wodurch die Uebereinstimmung von KH mit der Lage der gebrochenen Welle bewiesen ist. Auch sieht man, daß diese Construction mit der in 252 gewiesenen identisch ist.

255. Aus den allgemeinen Gleichungen der Fortpflanzung der undulirenden Bewegung in einem Systeme materieller Theilchen von der Art, wie man sich den Lichtäther vorzustellen hat, ergibt sich, Cauchy's Analyse gemäß, das wichtige Resultat, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der einfachen Schwingungen, in welchen das homogene Licht besteht, im Allgemeinen von der Schwingungsdauer abhängt. Beide Größen erscheinen nämlich durch eine Gleichung mit einander verknüpft, in welcher sich übrigens noch Größen befinden, die durch die specielle Natur des Mittels dargeboten werden. Ist daher die eine der zwei ersteren Größen gegeben, so ist die andere bestimmt. Hierin liegt der Grund, daß die Wellen, worin die Aethertheilchen ihre Schwingungen in kürzerer Zeit vollbringen, sich langsamer fortpflanzen als diejenigen, deren Schwingungsdauer größer ist. Ersteres ist bei den violettes Licht gebenden Wellen, letzteres bei den rothes Licht gebenden der Fall. Aber der Brechungswinkel hängt bei gleicher Incidenz von dem Verhältnisse der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes in den an einander grenzenden Mitteln ab, und zwar wird eine Lichtwelle um so stärker gebrochen, je langsamer sie in dem brechenden Mittel fortschreitet. Es sind demnach die Wellen, deren Aethertheilchen eine kürzere Schwingungsdauer haben, die brechbareren. Hierin liegt der Grund der Zerlegung des weißen Lichtes durch Bre-

chung in seine farbigen Bestandtheile, und überhaupt der Zerlegung jedes nicht homogenen Lichtes. Es erklärt somit die Undulationstheorie diese Zerlegung oder die sogenannte Dispersion des Lichtes vollkommen. (*Mémoire sur la dispersion de la Lumière. Par A. L. Cauchy. Prague* 1836.)

Da die Undulationstheorie die Erklärung, welche sie von der Brechung des Lichtes gibt, aus derselben Quelle schöpft, aus welcher die Erklärung der Reflexion hervorgeht, so sieht man daraus zugleich, warum an der Grenze eines durchsichtigen Körpers beide Erscheinungen in Verbindung mit einander auftreten. Die Emanationshypothese vermochte das Band, wodurch Reflexion und Brechung des Lichtes zusammenhängen, nur mittelst ganz willkürlicher Hilfshypothesen festzuhalten. Die Brechung des Lichtes sieht man nach dieser Hypothese als das Ergebniß einer anziehenden Kraft des brechenden Mittels an. Man meint, es sey diese Kraft in keinem Widerspruche mit der, woraus nach derselben Ansicht die Reflexion des Lichtes erklärt wurde, weil es denkbar ist, daß dieselbe Kraft, die in einem Zustande anziehend wirkt, in einem anderen eine abstoßende Wirkung ausübe. Diese Kraft muß nach einer Richtung wirken, welche auf der Oberfläche des brechenden Mittels senkrecht steht, weil ein senkrecht einfallender Strahl nicht gebrochen wird, und ihre Wirksamkeit kann sich in einem merklichen Grade nur auf eine sehr geringe Entfernung erstrecken, weil sonst die Ablenkung des Lichtes schon in der Nähe des brechenden Mittels bemerkbar seyn müßte, was aber nicht der Fall ist. Um aus der Wirksamkeit dieser Kraft die Erscheinungen der Brechung abzuleiten, denke man sich wieder die Geschwindigkeit des vom leeren Raume einfallenden Lichtes in eine normale und in eine parallele zerlegt. Erstere wird durch die anziehende Kraft des Mittels beim Eintritte des Lichtes in dasselbe verstärkt, letztere davon gar nicht afficirt; daher kommt es, daß die Bahn des Lichtes, welche die Resultirende dieser beiden Bewegungen im durchsichtigen Mittel ist, näher an der normalen liegt, als im leeren Raume, und daher eine Brechung zum Einfallslothe erfolgt. Kommt das Licht nicht vom leeren Raume, sondern von einem brechenden Mittel in ein anderes, so hängt das Ergebniß der Brechung von dem Unterschiede der anziehenden Kräfte beider Mittel ab. Ist die Kraft des Mittels, aus welchem ein Strahl kommt, kleiner, als die desjenigen, in welches er eintritt, so ist der Erfolg derselbe, als käme er vom leeren Raume in ein Mittel, dessen Anziehung dem Unterschiede der anziehenden Kräfte beider gleich ist; er wird daher, wie vorher, zum Einfallslothe gebrochen. Verhält es sich aber umgekehrt, so ist es gerade so, als wenn das zweite Mittel abstoßend auf das Licht wirkte, mit einer Kraft, welche dem Unterschiede der Anziehungskräfte beider Mittel gleich ist. In diesem Falle wird die auf die Einfallsebene senkrechte Geschwindigkeit des Strahles beständig vermindert, er beschreibt eine gegen das Einfallsloth convexe krumme Linie, und wird vom Einfallslothe gebrochen. Die Farbenzerstreuung wird in der Emanationshypothese als eine natürliche Folge der Wirksamkeit solcher anziehenden Kräfte erklärt, welche auf Lichttheilchen von verschiedener Masse verschieden wirken, und dadurch eine verschiedene Ablenkung derselben hervorbringen.

Der Umstand, daß nach der Emanationshypothese die Medien, welche den Gang des eintretenden Lichtes beschleunigen, es zum Einfallslothe, und die, welche den Gang des eintretenden Lichtes verzögern, es vom Einfallslothe brechen, während nach der Undulationstheorie gerade das Gegentheil Statt findet, könnte, wenn es noch nöthig wäre, zu

einer directen Entscheidung des Rangstreites beider Ansichten dienen, sobald es gelänge, durch Versuche nachzuweisen, ob das Licht in stärker brechenden Mitteln sich langsamer oder schneller bewege, als in schwacher brechenden. Arago hat hiezu die Anwendung des Wheatstone'schen rotirenden Spiegels vorgeschlagen, durch dessen Hilfe sich das Zeitintervall, das zwischen zwei rasch auf einander folgenden Lichteindrücken obwaltet, sensibel machen läßt. Man hätte sonach nur das von einem Puncte momentan oder wenigstens binnen eines sehr kleinen, die Dauer einer Umdrehung des Spiegels nicht erreichenden Zeittheiles ausgehende Licht durch die Luft und zugleich durch ein anderes Medium, z. B. Wasser zu leiten, und die Augenblicke der Wahrnehmung nach der Stellung der Bilder mit einander zu vergleichen. (Pogg. Ann. 46. 28.)

256. Um den Brechungsexponenten für den Uebergang einer bestimmten Lichtsorte aus der Luft in einen durchsichtigen Körper zu bestimmen, wendet man letzteren am zweckmäßigsten in der Gestalt eines dreiseitigen Prisma's mit ebenen Seitenflächen an, und beobachtet die durch Brechung in demselben veranlaßte Ablenkung eines hindurchgehenden Strahles von seiner ursprünglichen Richtung. Es sey ABC (Fig. 293) ein Querschnitt eines solchen Prisma's, der auf der Axe desselben senkrecht steht, und es falle ein Strahl SD in der Ebene des Schnittes auf die Fläche AB. Ist ED das Einfallsloth und der Stoff des Prisma's von der Art, daß der Strahl in ihm zum Einfallslothe gebrochen wird, so kann DF den gebrochenen Strahl vorstellen. Dieser wird aber beim Austritte aus dem Prisma in F wieder gebrochen, und zwar vom Einfallslothe FH, so daß er nach der zweiten Brechung die Richtung FG hat. Es ist nicht schwer, durch Rechnung den Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel SDE, dem brechenden Winkel ABC des Prisma's, dem Winkel GKx, den der gebrochene Strahl mit dem einfallenden macht, und dem Werthe von n zu finden. Um diese Größe für Flüssigkeiten zu bestimmen, wählt man ein hohles Prisma, das aus Glastafeln mit vollkommen parallelen Wänden besteht, füllt die Flüssigkeit ein und behandelt sie nun wie einen festen Körper. Bei der Prüfung von Gasen und Dünsten muß dieses Prisma mit einem Barometer und einem Thermometer in Verbindung stehen, um die Spannkraft und Dichte der Luft immer angeben zu können. Oft muß man aber auch die Dichte der Luft nach Belieben ändern können.

Wenn die Grenzen der einzelnen Farben im Spectrum, welches bei der Brechung gewöhnlichen Lichtes durch ein Prisma entsteht, genau bestimmt wären, so könnte man den Brechungsexponenten n für die äußersten Strahlen jedes Farbenstreifen finden und die Grenzen der Brechbarkeit angeben, innerhalb welchen jeder Strahl dieselbe Farbenempfindung erzeugt. Dieses ist aber nicht der Fall, und es gibt in einem Spectrum vom Sonnenlichte nichts scharf Begrenztes und genau dem Orte nach Bestimmbares als die dunklen Fraunhofer'schen Linien. Darum kann man auch nur die den Stellen dieser Linien entsprechenden Brechungsexponenten bestimmen, was aber, da diese Bestimmung mit großer Schärfe möglich ist, zu jedem Bedürfnisse der practischen Optik völlig hinreicht. So fand Fraunhofer (Gilb. Ann. 56. 292) für den Brechungsindex bei dem Uebergang aus der Luft in nachbenannte Medien für die den Linien B, C, D, E, F, G, H,

im Sonnenspectrum entsprechenden Strahlen folgende Werthe, die wir hier mit den gleichnamigen Buchstaben bezeichnen:

Flintglas, Dichte 3,723: B=1,627749; C=1,629681; D=1,635036; E=1,642024; F=1,648260; G=1,660285; H=1,671062.

Flintglas, Dichte 3,512: B=1,602042; C=1,603800; D=1,608494; E=1,614532; F=1,620042; G=1,630772; H=1,640373.

Crownglas, Dichte 2,535: B=1,525832; C=1,526849; D=1,529587; E=1,533005; F=1,536052; G=1,541657; H=1,546566.

Crownglas, Dichte 2,756: B=1,554774; C=1,555933; D=1,559075; E=1,563150; F=1,566741; G=1,573535; H=1,579470.

Wasser, Dichte 1,000: B=1,330977; C=1,331709; D=1,333577; E=1,335849; F=1,337788; G=1,341261; H=1,344162.

Terpentinöhl, Dichte 0,885: B=1,470496; C=1,471530; D=1,474434; E=1,478353 F=1,481736; G=1,488198; H=1,493874.

Durch theoretische, auf die Emanationstheorie sich stützende Gründe geleitet, nannte man, wenn n den Brechungsexponenten für den Uebergang des Lichtes aus dem leeren Raume in ein Medium, d die Dichte dieses Mediums bedeutet, den Ausdruck $n^2 - 1$ die brechende Kraft, $\frac{n^2 - 1}{d}$ aber das specifische Brechungsvermögen eines Mediums für die betrachtete Lichtsorte. Wurde diese nicht näher bezeichnet, so verstand man darunter jene, deren Brechbarkeit das Mittel zwischen den Extremen hält. Bedeuten ferner n', n, n'' die Brechungsexponenten für die rothen mittleren und violetten Strahlen, so ist $\frac{n'' - n'}{n - 1}$ die Größe, welche man das Zerstreuungsvermögen des Mediums nennt. Folgendes sind die Werthe genannter Größen für einige Körper:

A. Feste Körper.

	d	n	$n^2 - 1$	$\frac{n^2 - 1}{d}$	$\frac{n'' - n'}{n - 1}$
Diamant	3,521	2,487	5,185	1,473	0,038
Saphir	4,000	1,794	2,218	0,554	0,026
Topas, gelber	3,550	1,638	1,684	0,474	0,025
Beryll	2,650	1,598	1,554	0,586	0,037
Zucker	1,606	1,554	1,415	0,943	0,036
Phosphor	1,770	2,424	3,946	2,230	0,128

B. Tropfbare Körper.

	d	n	$n^2 - 1$	$\frac{n^2 - 1}{d}$	$\frac{n'' - n'}{n - 1}$
Schwefelkohlenstoff	1,272	1,643	1,699	1,336	0,048
Terpentinöhl	0,885	1,476	1,178	1,332	0,042
Alkohol	0,825	1,374	0,885	1,076	0,029
Wasser	1,000	1,336	0,785	0,785	0,035
Schwefelsäure	1,841	1,440	1,074	0,583	0,031
Salpetersäure	1,480	1,406	0,977	0,660	0,045
Salzsäure	1,156	1,376	0,893	0,776	0,043

C. Gase, bei 0° C. und 0,76 M. Barometerstand.

	d	n	$n^2 - 1$	$\frac{n^2 - 1}{d}$
Atmosphärische Luft . . .	1,000	1,000294	0,000589	0,000589
Sauerstoffgas	1,103	1,000272	0,000544	0,000493
Wasserstoffgas	0,069	1,000138	0,000277	0,004073
Stickgas	0,976	1,000300	0,000601	0,000616
Ammoniakgas	0,591	1,000385	0,000771	0,001304
Kohlensäuregas	1,524	1,000449	0,000899	0,000581
Chlorgas	2,470	1,000772	0,001545	0,000624
Salzsäuregas	1,254	1,000449	0,000899	0,000717
Stickoxydulgas	1,527	1,000503	0,001007	0,000659
Stickoxydgas	1,039	1,000303	0,000606	0,000583
Kohlenoxydgas	1,972	1,000340	0,000681	0,000342
Cyangas	1,819	1,000834	0,001668	0.000917
Oehlbildendes Gas	0,980	1,000678	0,001356	0,001384
Sumpfgas	0,559	1,000443	0,000886	0,001602
Schwefeligsaures Gas . . .	2,247	1,000665	0,001331	0,000059
Schwefelwasserstoffgas . .	1,178	1,000644	0,001288	0,001093
Schwefelkohlenstoffgas . .	2,644	1,00150	0,003010	0,001138

Die brechende Kraft eines Gases ist genau seiner Dichte proportionirt. Dasselbe gilt nach Dulong für Dünste, so lange sie noch weit vom Maximum ihrer Spannkraft entfernt sind; in der Nähe dieser Grenze aber wächst ihre brechende Kraft in einem größeren Verhältniß als ihre Dichte. Die Temperatur ändert das Brechungsvermögen eines Gases nicht, wenn sie nicht die Dichte afficirt. Die brechende Kraft eines gemengten Gases oder gemengter Dünste läßt sich aus den brechenden Kräften der einzelnen in dem Gemenge vorkommenden Körper berechnen; aber die brechende Kraft eines chemisch zusammengesetzten Gases steht in keiner bekannten Beziehung zu jener seiner Bestandtheile. (Biot und Arago in Gilb. Ann. 25. 345 und 365; 26. 36. Dulong in Pogg. Ann. 6. 373.)

Ueberhaupt hat in Betreff der Farbenzerstreuung und ihres Zusammenhanges mit der Brechung des Lichtes in einem Mittel die Erfahrung Folgendes gelehrt: Wenn in demselben Mittel die Größe der Brechung etwa durch Aenderung der Dichte dieses Mittels vergrößert oder verkleinert wird; so wird auch in demselben Verhältnisse die Größe der Farbenzerstreuung größer oder kleiner oder es ändert sich die Größe n'' in demselben Verhältnisse, in welchem sich n' ändert. Dieses gilt aber nicht mehr, wenn sich die Natur des Mittels ändert. Ist in einem Mittel n größer als in einem anderen, so ist zwar auch n'' und $n'' - n'$ in jenem größer als in diesem; aber es wachsen die Größen n'' und n' nicht mehr in demselben Verhältnisse, d. h. es ändert sich die Farbenzerstreuung nicht in demselben Verhältnisse, in welchem sich die Brechung ändert. Es kann daher nicht von einer auf die andere geschlossen, und jede muß durch eigene Versuche ausgemittelt werden. Das Zerstreuungsverhältniß zweier Mittel ist nicht für alle farbige Strahlen dasselbe, und man kann daher nicht, wenn dieses Verhältniß für irgend einen farbigen Strahl gegeben ist, davon auf das für einen anderen Strahl schließen, sondern man muß jedes eigens bestimmen.

Das Farbenzerstreuungsvermögen des Glases wird durch einen Zusatz von Blei bedeutend erhöht, dieß ist der Fall bei dem Flintglase.

Solches Glas, wie es Fraunhofer verfertigte, hat eine Farbenzerstreuung, welche im Durchschnitte sich zu der des Crown- oder Spiegelglases wie 2 : 1 verhält. Bei englischem Flintglase ist dieses Verhältniß 1,5 : 1; bei Wasser und Crownglas wie 1 : 1,56. Verschiedene Flintglasgattungen haben auch ein verschiedenes Zerstreuungsvermögen, und zwar in der Regel ein desto größeres, je dichter sie sind; Schwefel, Phosphor und die Metallsalze haben ein sehr großes Brechungs- und Zerstreuungsvermögen; Edelsteine brechen das Licht stärker als Flintglas, zerstreuen es aber weniger als Wasser; Harze, Gummi, Oehle und Balsame zerstreuen und brechen das Licht beinahe in einerlei Verhältniß stärker als Wasser. Die Oehle verdanken ihr großes Zerstreuungsvermögen wahrscheinlich dem Wasserstoffe, wenigstens überzeugte sich Herschel, daß das Zerstreuungsvermögen des Cassiaöhles fast um die Hälfte vermindert wurde, nachdem man ihm mittelst Chlor Wasserstoff entzogen hatte. Salzsäure, Salpetersäure und salpetrige Säure zerstreuen das Licht mehr, Schwefelsäure, Phosphorsäure, Citronen- und Weinsteinsäure weniger als Wasser. Ein ungemein kleines Zerstreuungsvermögen besitzen der Flußspath, der Chrysolith und der Topas. (Gilb. Ann 50. 129.)

257. Kennt man für den Uebergang des Lichtes aus einem Medium in ein anderes den Brechungsexponenten, und ist die Gestalt der Trennungsfläche beider Medien gegeben, so läßt sich nach den früher erklärten Principien zu jeder Richtung des einfallenden Strahles jene des gebrochenen finden. Geht dieser Strahl wieder aus dem Medium, in welches er eingedrungen ist, heraus, wobei er abermal eine Brechung erleidet, so läßt sich gleichfalls die Bahn desselben angeben, selbst wenn er im Innern des genannten Mediums eine oder mehrere Reflexionen erlitten hätte. Die wichtigste Anwendung dieser Lehren ist die Betrachtung des Ganges des Lichtes durch die sphärischen Linsen, aus welchen die brauchbarsten optischen Instrumente gebildet werden. Man nennt überhaupt eine sphärische Linse ein von Kugelflächen begrenztes Mittel. Es gibt mehrere Arten derselben, und zwar 1) beiderseits erhabene (Fig. 294, a); 2) auf einer Seite erhabene, auf der anderen ebene (b); 3) auf einer Seite erhabene, auf der anderen hohle, so daß die erhabene Fläche mehr gekrümmt ist als die hohle (c); 4) auf beiden Seiten hohle (d); 5) auf einer Seite hohle, auf der anderen ebene (e); 6) auf einer Seite erhabene, auf der anderen hohle, jedoch so, daß die erhabene Fläche weniger gekrümmt ist als die hohle (f). Die Linie AB, in welcher die Mittelpuncte der Krümmungen einer Linse liegen, heißt ihre Axe, der Punct der Axe in der Mitte der Linse, heißt der optische Mittelpunct, und eine Linse heißt centrirt, wenn alle ihre Theile um diese Axe symmetrisch liegen. Nur von solchen Linsen soll hier die Rede seyn. Man wendet gewöhnlich nur Glaslinsen an, verfertigt sie aus weißem Spiegelglase, oder zu einem besonderen Zwecke aus dem Flintglase, wohl auch aus gläsernen Schalen, die mit einer durchsichtigen Flüssigkeit gefüllt werden. Die Formen a, b, c nennt man in diesen Fällen aus später zu erörternden Gründen Sammellinsen, die Formen d, e, f Zerstreuungslinsen. Fresnel schlug Linsen vor, die aus mehreren Ringen zusammengesetzt werden (polyzonale Linsen). In be-

sonderen Fällen sind Linsen aus reinen, durchsichtigen Edelsteinen von Nutzen.

258. Ein Lichtstrahl S x (Fig. 295), welcher in der Richtung der Axe auf eine doppelt convexe Linse fällt, geht ungebrochen durch dieselbe, weil die Tangenten der Puncte A und B, welche er trifft, mit einander parallel sind, und es daher gerade so ist, als ginge er durch ein von parallelen Wänden begrenztes Mittel; jeder andere Strahl erleidet aber eine Ablenkung. Um diese zu bestimmen, sey S D y ein Strahl, der mit der Axe einen sehr kleinen Winkel bildet, C und c die Mittelpuncte der Krümmungen der Linse, D der Einfallspunct des Strahles S y, c D z das Einfallsloth, D E die Richtung des Strahles nach der ersten Brechung, G der Einfallspunct beim Austritte aus der Linse, C G das Einfallsloth, G F der Strahl nach der zweiten Brechung, und n der Brechungsexponent für den Uebergang des Lichtes aus der Luft in das Material der Linse. Man setze der Kürze halber $SA = a$, $AF = \alpha$, $AE = k$, $CG = f$, $cD = g$, vernachlässige die Dicke A B der Linse, und nehme $SD = SA$, $DE = BE$ an, welches bei der vorausgesetzten, sehr geringen Größe des Bogens A D wohl geschehen kann.

Es ist dem Gesetze der Brechung gemäß

$$\sin SDz : \sin cDE = n : 1,$$

ferner geben die Dreiecke S D c, c D E

$$\sin DcS : \sin SDc = SD : Sc$$
$$\sin cDE : \sin DcE = cE : DE.$$

Verbindet man diese drei Proportionen durch Multiplication, und bedenkt, daß $\sin SDz = \sin SDc$ und $\sin DcS = \sin DcE$ ist, so erhält man

$$Sc \,.\, DE = n \,.\, SD \,.\, cE, \text{ d. h. } (a + g)\, k = n\, a\, (k - g),$$

mithin $nag + gk = (n - 1)\, ak$, und hieraus durch Division mit agk

$$\frac{n}{k} + \frac{1}{a} = (n - 1)\, \frac{1}{g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Für die Brechung des Strahles D E an der zweiten Fläche der Linse findet eine ähnliche Gleichung Statt, die man sogleich aus (1) erhält, wenn man daselbst n, g, a, k gegen $\frac{1}{n}$, $-f$, $-k$, α umtauscht. Hierdurch wird

$$\frac{1}{n\alpha} - \frac{1}{k} = -\left(\frac{1}{n} - 1\right) \frac{1}{f} \text{ oder}$$
$$\frac{1}{\alpha} - \frac{n}{k} = (n - 1)\, \frac{1}{f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Addirt man die Gleichungen (1) und (2), so hat man:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) \quad . \quad (A).$$

259. Aus dieser Gleichung kann man die Brechungsgesetze des Lichtes in Linsen für Strahlen, die von der Axe sehr wenig abweichen, leicht bestimmen. Sie gibt 1) für $a = \infty$, $\frac{1}{\alpha} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right)$,

d. h. die Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Puncte herkommen oder die parallel auffallen, vereinigen sich in einem Puncte hinter der Linse. Man heißt diesen Punct den Brennpunct (focus), und seine Entfernung von der Linse die Brennweite. Setzt man die Brennweite $= p$, so wird

$$\frac{1}{p} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (B),$$

und daher aus (A)

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} \text{ oder } \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (C).$$

2) Je kleiner a ist, desto größer wird α, d. i. je näher der leuchtende Punct an die Linse rückt, oder je divergirender die Strahlen auffallen, desto weniger convergirend sind sie nach der Brechung. 3) Für $a = 2p$ wird auch $\alpha = 2p$, d. h. steht der leuchtende Punct in der doppelten Brennweite vor der Linse, so vereinigen sich die von ihm ausgehenden Strahlen in derselben Entfernung hinter der Linse. 4) Für $a = p$ wird $\alpha = \infty$, d. i. wenn sich der leuchtende Punct im Brennpuncte befindet, werden die Strahlen durch die Brechung parallel. 5) Für $a < p$ wird der Werth von α negativ, d. i. wenn sich der leuchtende Punct innerhalb der Brennweite befindet, so bleiben die von ihm ausgehenden gebrochenen Strahlen divergirend. 6) Hat a einen negativen Werth, so ist, wenn man $-a$ statt a schreibt, $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} + \frac{1}{a}$ mithin $\alpha < a$, d. i. convergirend auffallende Strahlen werden durch eine Converlinse noch mehr convergirend gemacht. Man sieht hieraus, daß in den Fällen 1, 3, 5, 6, ein Bild des leuchtenden Punctes in der Are entsteht.

260. Linsen, welche auf einer Seite conver, auf der anderen eben sind, können so angesehen werden, als hätten sie an der planen Seite eine Kugelkrümmung, wozu ein unendlich großer Radius gehört. Setzt man daher in der Formel (B) $f = \infty$, so erhält man $\frac{1}{p} = \frac{n-1}{g}$, und ersieht daraus, daß die für beiderseits convere Linsen aufgestellte Formel auch für planconvere gilt, und daß der ganze Unterschied im Werthe der Brennweite besteht, der bei übrigens gleichen Umständen für jene immer kleiner als für diese ist. Dieselbe Formel gilt auch für concavconvexe Linsen, wenn man einen Radius negativ nimmt, und sie in

$$\frac{1}{p} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g}\right)$$

umstaltet. Ist nun $f < g$, d. i. der Radius der Converität kleiner als jener der Concavität, so fällt p positiv aus, und es gehört die Linse in die Reihe der zwei vorigen. Der Umstand, daß diese drei Gattungen, des positiven Werthes der Brennweite wegen, parallele Strahlen immer convergirend zu machen suchen, rechtfertiget die denselben zukommende gemeinschaftliche Benennung Sammellinsen. Sie heißen auch Brenngläser, weil sie das Sonnenlicht im Brenn-

puncte so concentriren, daß man daselbst Körper verbrennen kann. Tschirnhausen, der es in der Verfertigung der Brenngläser sehr weit trieb, verfertigte eines von drei Fuß Oeffnung und zwölf Fuß Brennweite. So große Brenngläser macht man am leichtesten aus zwei Uhrschalen, die man zusammensetzt und mit Wasser oder Weingeist ausfüllt. Im Brennraume solcher Linsen können Metalle geschmolzen und Erden verglaset werden.

261. Für eine beiderseits hohle Linse wird sowohl der eine als der andere Halbmesser negativ. Deßhalb gilt für sie die Formel:

$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(-\frac{1}{f}-\frac{1}{g}\right) \text{ oder } \frac{1}{p} = -(n-1)\left(\frac{1}{f}+\frac{1}{g}\right),$$

das heißt es fällt p negativ aus. Setzt man in (C) — p statt p, so hat man

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a} \quad . \; . \; . \quad (D).$$

Des negativen Werthes der Brennweite wegen werden Strahlen, welche auf eine solche Linse parallel auffallen, durch die Brechung so divergirend, als kämen sie von einem Puncte vor der Linse her. Dieser Punct ist wieder der Brennpunct des Glases und seine Entfernung von der Linse die Brennweite. Man nennt ihn nicht selten den imaginären Brennpunct, weil sich daselbst die Strahlen nicht wirklich vereinigen. So lange a einen endlichen aber positiven Werth hat, ist α negativ und dem numerischen Werthe nach kleiner als a, d. i. divergirend auf diese Linse auffallende Strahlen werden durch die Brechung noch mehr divergirend. Ist a negativ, d. h. fallen die Strahlen convergirend auf; so wird, wenn man in (D) — a an die Stelle von a bringt,

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{a} - \frac{1}{p}.$$

Ist $a > p$, so wird α negativ oder die Strahlen werden divergirend. Ist $a = p$; so wird $\alpha = \infty$ oder die Strahlen werden parallel. Ist endlich $a < p$, so wird α positiv oder die Strahlen bleiben convergirend, sind es aber wegen $\alpha > a$ weniger als vor ihrer Brechung. Wenn man $f = \infty$ setzt, und aus obiger Formel

$$\frac{1}{p} = -\frac{n-1}{g}$$

macht, so hat man sie für eine planconcave Linse eingerichtet. Eine solche Linse bringt daher im Allgemeinen dieselben Wirkungen hervor, wie eine beiderseits concave. Ist f positiv, g negativ, und überdieß $f > g$, so wird die Linse eine convexconcave, und es zeigt die Formel

$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}\right),$$

daß p negativ wird, demnach diese Linse ebenfalls in die Klasse der zwei so eben betrachteten gehört. Alle drei zusammen begreift man des negativen Werthes der Brennweite wegen unter dem Worte Zerstreuungslinsen.

262. Strahlen, die mit der Axe einen bedeutenden Winkel machen, können nicht so wie die vorher betrachteten durch die Linse in einem Puncte vereiniget werden. Fallen z. B. mehrere solche Strahlen auf die Linse Fig. 296 auf, und schneiden die der Axe A B nächsten dieselbe in F, so werden die anderen, mehr abweichenden sich einander in f, f′, f″, f‴ schneiden, und so zu beiden Seiten der Axe die symmetrische Curve f f′ F f′ f″ bilden, welche man Brennlinie (Caustica) nennt. Diese Abweichung kommt von der Gestalt der Linse her, und heißt Abweichung wegen der Kugelgestalt (sphärische Abweichung). Wegen ihr geben nur die von der Axe wenig abstehenden Strahlen hinter der Linse ein deutliches Bild des leuchtenden Punctes. Will man daher ein solches Bild erhalten, so muß man die gegen den Rand der Linse einfallenden Strahlen durch eine Blendung abhalten, und der Linse solche Krümmungen geben, daß diese Abweichung ein Kleinstes werde.

Bei zwei nahe an einander gestellten Linsen kann man nach Herschel (*Phil. transact.* 1821) diese Abweichung ganz heben, bei einer gleichseitigen Linse ist diese Abweichung größer als bei einer ungleichseitigen, bei letzterer größer, wenn die weniger gekrümmte Seite gegen das Object gekehrt ist, als wenn das Gegentheil Statt findet, bei einer Convexplan- oder bei einer Concavplanlinse, deren Planseite gegen das Auge gewendet wird, ist die Abweichung fast so klein, wie bei einer Linse, wo sie auf das Minimum gebracht ist.

263. Die in 259 angegebene Gleichung (C) gilt auch für einen Punct, der außer der Axe, aber in einer sehr geringen Entfernung von ihr liegt. Um dieses zu beweisen, sey Ma (Fig. 297) die Axe der Linse, S der leuchtende Punct außer ihr, C das optische Centrum, Ss ein Strahl durch C, SB ein anderer Strahl, und Bs sein Weg nach der Brechung. Verlängert man die Linie BS, bis sie die Axe in A schneidet, und eben so sB nach Belieben bis E, so ist

$$BSs + BsS = BAD + BDA,$$

weil jede dieser Summen gleich EBA ist. Liegt nun S in einer sehr geringen Entfernung von der Axe, und SB wenig gegen Ss geneigt, so kann man die genannten Winkel ihren Tangenten proportionirt setzen, und BC auf SC senkrecht annehmen. Diesem gemäß ist

$$BSs = \frac{BC}{SC},\ BsS = \frac{BC}{sC},\ BAD = \frac{BC}{AC},\ BDA = \frac{BC}{CD},$$

und daher $\frac{BC}{SC} + \frac{BC}{sC} = \frac{BC}{AC} + \frac{BC}{CD}$ oder

$$\frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{AC} + \frac{1}{CD}.$$

Befände sich der leuchtende Punct in A, so wäre

$$\frac{1}{AC} + \frac{1}{CD} = \frac{1}{p},\ \text{mithin ist auch}\ \frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{p}.$$

Es entsteht daher auch von einem leuchtenden Puncte, der außer der Axe, aber nahe an ihr liegt, unter denselben Umständen, wie von einem in der Axe liegenden, ein Bild, und zwar in einer durch den

leuchtenden Punct und durch das optische Centrum gezogenen, geraden Linie.

264. Befindet sich außerhalb der Brennweite einer Sammellinse ein leuchtender Gegenstand, wovon kein Punct gar weit außer der Axe der Linse liegt, so entsteht von jedem Puncte ein Bild hinter der Linse, in einer durch ihn und durch das optische Centrum gezogenen, geraden Linie; die Bilder aller Puncte geben ein verkehrtes Bild des Gegenstandes. Wäre z. B. AB (Fig. 298) eine Sammellinse, F ihr Brennpunct, Ss ein Gegenstand; so entsteht von S das Bild S', von s das Bild s', und die Bilder der zwischen S und s liegenden Puncte befinden sich zwischen S' und s', so daß S's' das Bild von Ss vorstellt. Ist C der optische Mittelpunct, so wird ohne merklichen Fehler angenommen werden können, $\frac{Ss}{S's'} = \frac{CS}{C'S'}$. So lange also $CS > C'S'$; ist auch $Ss > S's'$. Man sieht hieraus, daß das Bild desto größer ausfällt, je näher der Gegenstand an den Brennpunct rückt. Befindet sich unter derselben Voraussetzung, wie vorher, ein leuchtender Gegenstand innerhalb der Brennweite einer Sammellinse; so entsteht nicht, wie im vorhergehenden Falle, ein wirkliches durch Zusammentreffen der Strahlen hervorgebrachtes Bild, welches man auf einer hinter der Linse gestellten Tafel auffangen kann, sondern lediglich ein imaginäres, d. h. bloß für ein Auge, welches die aus der Linse kommenden Strahlen aufnimmt, vorhandenes Bild vor der Linse in einer größeren Entfernung, als die des Gegenstandes ist. Dieses Bild erscheint aufrecht und vergrößert. Ist nämlich wieder AB (Fig. 299) eine Sammellinse, FC ihre Axe, F der Brennpunct, C der optische Mittelpunct, Ss ein leuchtender Gegenstand; so erscheint das Bild von s in s', das von S in S', mithin das ganze Bild von Ss in S's', und kann, vorausgesetzt daß S's' in der Sehweite eines Auges liegt, von demselben wahrgenommen werden. Da hier wieder, wie vorhin $\frac{S's'}{Ss} = \frac{C's'}{Cs}$ ist, so muß S's' immer größer als Ss erscheinen, und zwar desto mehr, je näher Ss im Vergleiche mit S's' der Linse liegt, mithin je kleiner die Brennweite derselben ist.

265. Zerstreuungslinsen geben von einem leuchtenden Gegenstande, er mag sich außerhalb oder innerhalb der Brennweite oder gar im Brennpuncte selbst befinden, ein aufrechtes imaginäres Bild vor der Linse, das ihr näher liegt, als der Gegenstand, und deßhalb stets verjüngt erscheint. Ist AB (Fig. 300) eine Zerstreuungslinse, FC ihre Axe, C der optische Mittelpunct, Ss ein leuchtender Gegenstand, so erscheint s in s', S in S' und Ss in S's'. Wegen $C's' < Cs$ muß auch immer $S's' < Ss$ seyn.

266. Der Umstand, daß die Brechbarkeit des Lichtes mit seiner Eigenschaft, die Empfindung einer bestimmten Farbe zu erregen, so innig zusammenhängt, macht, daß bei jeder Brechung auch eine Farbenzerstreuung eintritt. Wo die Ablenkung des gebrochenen Strahles nicht groß ist, hat diese Zerstreuung auf unsere Empfindung frei-

lich keinen merklichen Einfluß, wo aber ein Lichtstrahl von seiner Bahn bedeutend abgelenkt wird, da ist dieser Einfluß auf die Deutlichkeit und Färbung des Bildes des Gegenstandes, von dem das Licht kommt, sehr groß. Es sey S (Fig. 301) ein leuchtender Punct, der weißes Licht auf die Sammellinse AB sendet. Dieses Licht wird bei der Brechung zerstreut, die brechbarsten Strahlen vereinigen sich in v, die von mittlerer Brechbarkeit in f, die am wenigsten brechbaren in r, so daß alle zusammen, abgesehen von der Abweichung wegen der Gestalt des Glases, sich nicht mehr in einem Puncte vereinigen, sondern bei ihrer größten Vereinigung innerhalb eines Kreises vom Durchmesser CD liegen, den man Abweichungskreis nennt. Stellt man ein dünnes Plättchen mit einer feinen, runden Oeffnung nahe an den Brennpunct einer Sammellinse, die in einem verfinsterten Zimmer einen eindringenden Lichtkegel auffängt; so werden einige der farbigen Strahlen aufgehalten, während die anderen durch die Oeffnung gehen, und auf einer Tafel aufgefangen, ein schönes Farbenspiel gewähren. Noch herrlicher wird diese Erscheinung, wenn man statt der runden Oeffnung eine ringförmige nimmt, wie Fig. 302 zeigt. Es gibt daher an Linsen außer der sphärischen Abweichung auch noch eine wegen der verschiedenen Brechbarkeit des farbigen Lichtes, die man chromatische Abweichung nennt. Sie ist in der Regel bei den gewöhnlichen Linsen viel größer als jene, und würde den Bildern alle Deutlichkeit benehmen, wenn nicht der Umstand Statt fände, daß sich das von einem Puncte S kommende Licht nicht innerhalb des ganzen Abweichungskreises gleichmäßig vertheilt, sondern im Mittelpuncte f am stärksten ist, und gegen den Umfang hin beständig abnimmt, so daß es am Umfange selbst unendlichmal schwächer als im Mittelpuncte ist. Nämlich alle Strahlen von mittlerer Brechbarkeit gehen durch den Mittelpunct dieses Kreises, alle äußersten sind auf der ganzen Kreisfläche verbreitet, und die übrigen Strahlen nehmen auf ihr einen größeren oder kleineren Raum ein, je nachdem ihre Brechbarkeit mehr oder weniger von der mittleren abweicht.

Man mißt die Größe der von einer der zwei Abweichungen herrührenden Undeutlichkeit durch den Halbmesser des Kreises, in welchem sich die Strahlen vereinigen, welche ohne Abweichung in einen Punct vereinigt würden. Er heißt darum auch der Halbmesser der Undeutlichkeit — Unter Strahlen von mittlerer Brechbarkeit versteht man nicht die in der Mitte des Farbenbildes liegenden, sondern die den rothen etwas näheren gelben, weil das Farbenbild auf der Seite der violetten Strahlen schwächer ist, als auf der Seite der rothen, und weil man bei der Bestimmung der Farbenzerstreuung mit einem Prisma, das einen kleinen brechenden Winkel hat, stets ein Verhältniß findet, das mit dem der gelben Strahlen übereinstimmt.

267. Stellt man einen leuchtenden Körper in gehöriger Entfernung vor eine Sammellinse, so werden alle von jedem einzelnen Puncte ausgehenden Strahlen auf die vorhin genannte Weise gesammelt, die Kreise der an einander grenzenden Puncte decken sich zum Theile (Fig.

269), und verursachen dadurch eine Undeutlichkeit des Bildes, die desto größer ist, je mehr die farbigen Strahlen zerstreut werden, und je gleichförmiger das Licht im Abweichungskreise jedes Punctes vertheilt ist.

268. Außer dieser Undeutlichkeit der Bilder verursacht die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes auch noch gewisse Farbenerscheinungen. Ist z. B. AB (Fig. 303) ein Gegenstand, der weißes Licht auf die Sammellinse CD sendet und sich außer ihrer Brennweite befindet, so entsteht hinter ihr nicht ein einziges Bild, wie bisher immer angenommen wurde, sondern unzählige in verschiedener Entfernung von der Linse und daher auch von verschiedener Größe, worunter sechs verschiedenfarbige unterschieden werden können. Das von der Linse entfernteste, mithin größte, darunter ist das rothe rr', das kleinste das violette vv'; die übrigen liegen zwischen beiden. Werden diese Bilder auf einer weißen Tafel aufgefangen oder mit freiem Auge betrachtet, so decken sich dieselben in der Mitte, und bringen durch ihren Gesammteindruck die Empfindung der weißen Farbe hervor. Nicht so am Rande; da ragt der rothe und gelbe Theil über die übrigen hervor, und das ganze Bild erscheint daher mit einem rothgelben Saume. Wäre der Gegenstand nach innen begrenzt wie ein Ring, so würde sein Bild eine bläulich violette Einfassung haben, weil von dieser Seite das violette und blaue Bild vorsteht. Erschiene dem Auge O das Bild eines Gegenstandes AB (Fig. 304) vor der Linse CD, so müßte in Betreff des farbigen Randes das Umgekehrte Statt finden. Hier ist das rothe Bild rr' der Linse am nächsten, das violette vv' davon am meisten entfernt, und daher jenes unter allen das kleinste, dieses das größte, weßwegen letzteres über die anderen hervorragen und einen bläulich violetten Saum erzeugen muß.

269. Der nachtheilige Einfluß dieser verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes mußte wohl schon früh denkende Naturforscher aufmuntern, Mittel ausfindig zu machen, um ihm abzuhelfen. Newton hielt ein solches Mittel, durch eine unrichtige Beobachtung und einen falschen Schluß verleitet, für unmöglich, Euler vermuthete die Möglichkeit desselben aus der Betrachtung des Baues des Auges, wo diese Abweichung nicht Statt zu finden schien; aber erst Dollond (im Jahre 1757) war es vorbehalten, durch Klingenstierna's Untersuchungen veranlaßt, auf die rechte Spur zu kommen, und Linsen mit farbenlosen Bildern, achromatische Linsen, zu verfertigen. Um einen richtigen Begriff vom Wesen des Achromatismus zu bekommen, muß man Folgendes überlegen: Die Ursache, warum ein von der Sonne direct kommender Strahl nicht farbig erscheint, liegt darin, daß die verschieden brechbaren Bestandtheile desselben mit einander parallel fortgehen und auch zusammen ins Auge kommen; durch ein dreiseitiges Prisma wird der weiße Strahl in farbige Theile zerlegt, weil durch die Brechung dieser Parallelismus der farbigen Theile aufgehoben wird. Man wird daher, um z. B. ein achromatisches Prisma zu Stande zu bringen, dahin arbeiten müssen, diesen Parallelismus

wieder herzustellen, ohne die Ablenkung des Strahles überhaupt aufzuheben. Wenn daher an ein Prisma A (Fig. 305), welches den einfallenden weißen Strahl Sa in farbige Theile zerlegt, wovon die äußersten ab und ac sind, ein zweites B, welches aus einem gleich stark brechenden, aber mehr zerstreuenden Stoffe besteht, so gelegt wird, daß die brechenden Winkel eine entgegengesetzte Lage haben; so wird vom Prisma der violette Strahl ac in einem größeren Verhältnisse abgelenkt, als der rothe ab, und da die Ablenkung desselben Strahles in beiden Prismen nach entgegengesetzten Richtungen erfolgt, so wird es bei einem gewissen Verhältnisse der brechenden Winkel zum Zerstreuungsvermögen der Prismen dahin kommen, daß beide Strahlen cd und be nach dem Austritte aus den Prismen mit einander parallel werden. Dieses wird aber natürlich nur bei einem bestimmten Einfallswinkel des Lichtes Statt finden, und es wird daher das Prisma nur bei diesem achromatisch seyn; aber auch hier wird der Achromatismus nicht ganz vollständig seyn können, weil nur die äußersten, nicht aber alle Strahlen mit einander parallel werden. Dollond construirte zuerst ein achromatisches Prisma aus Crown- und Flintglas, wovon jenes einen brechenden Winkel von 30°, dieses einen Winkel von 19° hatte.

270. Nach denselben Grundsätzen werden achromatische Linsen verfertiget. Es sey A (Fig. 306) eine Converlinse aus Crownglas, welche die weißen auffallenden Strahlen so convergirend macht, daß sich die rothen in r, die gelben in g und die violetten in v vereinigen. Nach Hinzugabe eines Concavglases B wird die Convergenz der gebrochenen Strahlen kleiner, und wenn dessen Brennweite größer ist, als die von A, so vereiniget die Doppellinse die gelben Strahlen in einer größeren Entfernung, z. B. in g'. Ist B von Flintglas, so bringt es wegen der größeren Farbenzerstreuung die Vereinigungspuncte der rothen und violetten Strahlen näher an g', als es der Fall bei Crownglas gewesen wäre, und bei einem gewissen Verhältnisse zwischen den Brennweiten der Linsen und ihrer Farbenzerstreuung fallen alle diese Puncte zusammen. Dieses setzt aber auch voraus, daß die Farbenzerstreuung beim Flintglase für alle farbige Strahlen gegen die beim Crownglase in demselben Verhältnisse stehe; eine Bedingung, die in der Wirklichkeit nicht eintrifft. Daher begnügt man sich gewöhnlich bei achromatischen Linsen, die Vereinigungspuncte der äußersten Strahlen und derjenigen zusammenzubringen, die vermöge ihrer Brechbarkeit und Lebhaftigkeit gleichsam als die mittleren anzusehen sind, allein man bewirkt dadurch keinen vollkommenen Achromatismus, und muß daher oft zur besseren Erzielung des beabsichtigten Zweckes eine dreifache Linse construiren, welche aus zwei converen Crownglas- und einer concaven Flintglaslinse besteht, welche zusammen ein achromatisches System bilden. Allein auch damit reicht man nicht aus, wenn es sich um ein Bild von beträchtlicher Ausdehnung handelt, das nicht bloß von der chromatischen, sondern auch von der sphärischen Abweichung möglichst frei seyn soll. Man nimmt dann eine Zusammenstellung

mehrerer Linsen zu Hilfe. Eine Combination von Linsen, bei welcher nebst der chromatischen auch noch die sphärische Abweichung gehoben ist, heißt aplanatisch. Fallen auf eine achromatische Linse parallele Strahlen auf, so wird der convexe Bestandtheil gegen das Object gewendet; treffen es hingegen stark divergirende Strahlen, so kehrt man den concaven Theil gegen das Object.

Gewöhnlich stellt man die Flintglaslinse hart an die Crownglaslinse, womit erstere eine achromatische Verbindung geben soll, oder kittet gar beide zusammen; da müssen natürlich die Linsen gleiche Oeffnungen bekommen. Erst in der neuesten Zeit hat man beide Linsen bis auf $1/3$—$1/2$ der Brennweite des Crownglases aus einander gerückt, und dadurch den Vortheil erlangt, den ganzen, auch von einer großen Crownglaslinse kommenden Lichtkegel mit einem viel kleineren Flintglase auffangen und achromatisiren zu können. Die Construction solcher Linsen, die man dialytische nennt, hat zuerst Barlow angedeutet, Rogers hat den gemachten Vorschlag abgeändert, Littrow und Stampfer haben die mathematische Theorie geliefert, und Plößl hat sie zuerst ausgeführt. (Barlow in *Phil. Transact.* 1829, Rogers in Zeitschr. 5. 120, Jahrb. des polyt. Instit. 14. 108, Littrow in Zeitschr. 4. 255., Jacquin ebend. n. F. 3. 57. Stampfer in Jahrb. des polyt. Inst. Bd. 14, 108) Statt Flintglas hat man mehrere Flüssigkeiten in Vorschlag gebracht, weil es schwer hält, große und doch homogene Flintglasstücke zu erhalten. Schwefelkohlenstoff scheint sich am besten hierzu zu eignen, wiewohl Flüssigkeiten überhaupt gegen sich haben, daß sie so leicht verdünsten und sich ungleich erwärmt in Schichten von verschiedener Dichte absondern.

271. Außer der Brechung des Lichtes bei dem Durchgange durch Linsen hat noch die Brechung und Reflexion desselben im Innern einer Kugel für den Physiker, wegen der Anwendung auf die Erklärung des Regenbogens einen höheren Grad von Wichtigkeit. Es sey SA (Fig. 307) ein Lichtstrahl, welcher bei A eine Kugel aus einem durchsichtigen Stoffe trifft. Ein Theil des Lichtes wird daselbst reflectirt; ein anderer dringt in die Kugel nach der Richtung AB ein. Hievon tritt wieder ein Theil bei B aus der Kugel, ein anderer aber wird nach BC reflectirt, der seinerseits einen reflectirten und einen nach CO austretenden Strahl liefert. Wir wollen das auf solche Weise nach zwei Brechungen und einer Reflexion aus der Kugel gehende Licht näher untersuchen. Verlängert man OC bis diese Richtung jener von SA in E begegnet, so liegen die Puncte E und B in einer Geraden, die durch den Mittelpunct K der Kugel geht. Denn es sind nach dem Reflexionsgesetze die Winkel ABK, CBK einander gleich; zieht man nun KAx, KCy, so sind auch die Winkel KAB und KCB, welche den erstgenannten gleichkommen, einander gleich, folglich nach dem Refractionsgesetze (251. 3) auch die Winkel SAx, Ocy, mithin hat man auch $KAE = KCE$. Hieraus und aus $KAB = KCB$ folgt die Richtigkeit der so eben ausgesprochenen Behauptung. Setzt man den Einfallswinkel $SAx = \alpha$, den Brechungswinkel $KAB = \beta$, und die Hälfte des Winkels SEO nämlich $AEK = \omega$, so hat man wegen $AEK = ABK - BAE = ABK - (KAE - KAB)$ folglich

$\omega = \beta - (\alpha - \beta) = 2\beta - \alpha$. Betrachten wir einen andern sehr nahe an A und parallel zu SA in der Ebene SEO einfallenden Strahl, so wird für diesen im Allgemeinen ω einen anderen Werth erhalten, die Richtung des austretenden Strahles wird daher jene des benachbarten CO schneiden, und befindet sich in O ein Auge, so wird diesem das Licht von dem Durchschnittspuncte beider Strahlen herzukommen scheinen. Die Folge dieser Durchschnittspuncte für alle möglichen in der Ebene SEO mit SA parallel auf die Kugel fallenden und auf gleiche Weise gebrochenen und reflectirten Paare einander nächster Strahlen bildet eine eigene krumme Linie, welche als eine Brennlinie zu betrachten ist. Es gibt aber unter diesen solche Strahlen, welche gleichfalls parallele austretende Strahlen liefern, woraus folgt, daß diese Brennlinie eine Asymptote habe. Um den Einfallswinkel α und den Ablenkungswinkel ω für diese Strahlen kennen zu lernen, bedenke man daß in Bezug auf dieselben der Winkel ω sich nicht ändert, wenn α um eine sehr kleine Größe α' und in Folge dessen β um eine sehr kleine Größe β' geändert wird. Man hat also $\omega = 2(\beta + \beta') - (\alpha + \alpha')$. Da aber $\omega = 2\beta - \alpha$ ist, so folgt hieraus $2\beta' - \alpha' = 0$ oder $2\beta' = \alpha'$. Es sey nun n das Brechungsverhältniß, also $\sin\alpha : \sin\beta = n : 1$ oder $\sin\alpha = n \sin\beta$, so muß auch $\sin(\alpha + \alpha') = n \sin(\beta + \beta')$ seyn. Dieß gibt, weil man wegen der Kleinheit von α' und β', $\sin\alpha' = \alpha'$, $\sin\beta' = \beta'$ und $\cos\alpha' = 1$, $\cos\beta' = 0$ setzen darf, nach der Entwicklung von $\sin(\alpha + \alpha')$ und $\sin(\beta + \beta')$ mittelst der bekannten Formel

$\sin\alpha + \alpha' \cos\alpha = n(\sin\beta + \beta' \cos\beta)$ mithin $\alpha' \cos\alpha = n\beta' \cos\beta$ also mit Rücksicht auf die Gleichung $2\beta' = \alpha'$, $2\cos\alpha = n\cos\beta$. Somit ist $\sin\alpha^2 + 4\cos\alpha^2 = n^2(\sin\beta^2 + \cos\beta^2) = n^2$ oder

$$1 + 3\cos\alpha^2 = n^2, \text{ folglich } \cos\alpha = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}.$$

Hiernach läßt sich der Werth von α, und mittelst der Gleichungen $\cos\beta = \frac{2}{n}\cos\alpha$ und $\omega = 2\beta - \alpha$ auch ω finden. Von diesen parallel austretenden Strahlen wird ein Auge stärker getroffen als von den übrigen, daher man dieselben vorzugsweise die wirksamen Strahlen nennt. Enthält SA weißes Licht, so nehmen die den verschiedenen farbigen Bestandtheilen desselben entsprechenden wirksamen Strahlen wegen der Verschiedenheit des Werthes von n einen verschiedenen Weg, und es bildet sich demnach ein Spectrum. Hiernach kann man sich den Farbenwechsel einer soliden oder einer mit Wasser gefüllten hohlen Glaskugel erklären, wenn dieselbe in verschiedene Höhen gestellt und von der Sonne beleuchtet wird, eben so die Farben der in der Luft schwebenden Wassertropfen in der Nähe des Strahles eines Springbrunnens, wenn Sonnenlicht darauf fällt und von diesen Tropfen in das Auge des Beobachters gelangt.

In der Nähe dieser wirksamen Strahlen wechselt die Intensität des Lichtes, indem sie durch mehrere Maxima und Minima hindurch geht, auf ähnliche Weise wie in den Beugungserscheinungen. Dieß läßt sich mit Hülfe der Undulationstheorie nachweisen, indem man das Zusammen-

wirken der Elementarwellen zu einer wirksamen Welle dem Calcul unterwirft, woraus zugleich die Unzulänglichkeit der, lediglich auf die Emanationshypothese gegründeten sogenannten geometrischen Optik zur Behandlung solcher Probleme erhellet (Airy in Pogg. Ergänzbd. 1. 232).

272. Aehnliche Betrachtungen sind auf die Strahlen anwendbar, welche erst, nachdem sie bei C reflectirt worden, bei D (Fig. 308) aus der Kugel heraustreten. Bezeichnet man wieder die Winkel S A x, KAB, SEO mit α, β, 2ω, so hat man $KEA = EAx - AKE$, $AKE = 180^\circ - AKB - BKL = 180^\circ - (180^\circ - 2\beta) - (90^\circ - \beta) = 3\beta - 90^\circ$ mithin $\omega = \alpha - 3\beta + 90^\circ$. Auf dem in 271 betretenen Wege findet man $\alpha' = 3\beta'$, $3 \cos\alpha = n \cos\beta$, woraus man mittelst der Gleichung $\sin\alpha = n \sin\beta$, nach einer leichten Rechnung

$$\cos\beta' = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{8}} \text{ erhält.}$$

273. Nach den Gesetzen der einfachen Brechung des Lichtes lassen sich überhaupt alle Erscheinungen erklären, welche sich einstellen, so oft Lichtstrahlen aus verschiedenartigen Substanzen, oder selbst durch Luftschichten von ungleichförmiger Dichte in unser Auge kommen. Dergleichen sind: daß ein Gefäß minder tief erscheint, wenn es Wasser enthält, als wenn es leer ist; daß man einen ins Wasser getauchten Stab verkürzt oder gebrochen sieht; daß ein Gegenstand im Wasser größer, und durch ein Rautenglas angesehen vervielfältigt erscheint. Auch folgende, sehr interessante Erscheinungen erklären sich aus den angeführten Brechungsgesetzen (251) durch einfache Schlüsse: Gießt man in ein gläsernes, schmales und ziemlich langes Gefäß Wasser, und hierauf mittelst einer bis auf den Boden des Gefäßes reichenden Röhre Schwefelsäure, die sich sehr langsam mit dem Wasser mischt, und daher Schichten bildet, welche von unten nach oben allmälig an Dichte abnehmen, und sieht hierauf durch die Flüssigkeit nach der Länge des Gefäßes auf einen leuchtenden Gegenstand; so bemerkt man ihn doppelt. Dasselbe erfolgt auch, wenn man einen Gegenstand so ansieht, daß das Licht, welches von ihm ins Auge kommt, durch Luftschichten gehen muß, die durch ein glühendes Eisen oder durch einen von der Sonne beschienenen, schwarzen Körper verschieden erwärmt werden. Einen gleichen Grund hat auch das scheinbare Zittern der Gegenstände, welche man längs einem von der Sonne erhitzten Dache rc. ansieht. Berücksichtiget man noch dabei, daß weißes oder zusammengesetztes Licht bei der Brechung in seine farbigen Bestandtheile zerfällt, so wird man alle die Erscheinungen zu deuten wissen, welche man wahrnimmt, wenn man einen Körper durch ein Prisma ansieht, z. B. warum ein schwarzes Quadrat auf weißem Grunde an einem Ende roth, am anderen blau und violett erscheint; warum ein schmaler, weißer Papierstreifen durch das Prisma aus mehreren gefärbten, parallelen Streifen bestehend erscheint; warum sich ein breiter Streifen nur am Rande gefärbt, in der Mitte weiß zeigt u. s. w. Aus der totalen Reflexion des Lichtes erklärt es sich, warum man Gegenstände unter der

Basis eines Prisma's bei tieferer Stellung des Auges nicht sieht; warum man, wenn diese Basis durch Wolkenlicht beleuchtet wird, auf selber einen blauen Bogen sieht, dessen Concavität gegen das Auge gekehrt ist und innerhalb dessen der dunklere, außerhalb dessen aber der viel hellere Theil dieser Basis sich befindet u. s. w.

Da das Brechungsvermögen eines Stoffes von seiner chemischen Beschaffenheit abhängt, so kann es als Merkmal zur Bestimmung desselben dienen. So ändert z. B. die geringste Beimischung von Weingeist zu Wasser das Brechungsvermögen der Flüssigkeit. Steinheil hat einen Apparat construirt, mittelst dessen nicht nur diese Aenderung sensibel gemacht wird, sondern selbst der Alkoholgehalt eines geistigen Getränkes sich angeben läßt.

Auch die Interferenz des Lichtes läßt sich mit Hilfe der Brechung darstellen. Man bedient sich dazu eines dreiseitigen Prisma's mit einem sehr stumpfen Winkel, worauf man von einem Puncte oder von einer der Kante dieses Winkels parallelen Linie Licht fallen läßt. Es zeigen sich da, wenn man durch das Prisma gegen die Lichtquelle hinsieht, zwei leuchtende Puncte oder Linien, und wenn man die Vereinigungsstelle der diesen entsprechenden Strahlen mittelst eines Vergrößerungsglases untersucht, erblickt man ein System von Interferenzlinien. Ist nämlich L M N (Fig. 309) der Durchschnitt des Prisma's, dessen Flächenwinkel bei L und M einander gleich und sehr spitzig sind, S der leuchtende Punct, welcher so stehe, daß die Gerade S N, die von ihm zur stumpfen Kante N geht, die L M senkrecht durchschneidet, so werden zwei Strahlen wie S A, S B bei ihrem Austritte an den Flächen L N, M N dergestalt gebrochen, daß sie sich in I durchkreuzen. Befindet sich dieser Punct innerhalb der Brennweite eines Sammelglases, zu welchem die genannten Strahlen nach ihrer Durchkreuzung gelangen, so werden sie nach der Brechung von einem entfernteren, in der von der Mitte der Linse durch I geführten Geraden liegenden Puncte herzukommen scheinen, und hat die Linse eine solche Stellung gegen das hinter ihr befindliche Auge, daß letzterer Punct in der Sehweite desselben liegt, so wird das Auge den Erfolg der in I vor sich gehenden Interferenz der Strahlen A I, B I wahrnehmen. Ist die Entfernung des leuchtenden Punctes S vom Prisma nicht zu gering, so scheinen alle durch die Flächen L N, M N austretenden Strahlen nahe von zwei Puncten S′, S″ herzukommen, die sich also wie Bilder von S verhalten. Um die vortheilhafteste Stellung des Auges gegen die Linse zu erkennen, seyen S′, S″, Fig. 310, die letztgenannten Puncte und H K die Linse. Betrachtet man S′ S″ wie einen leuchtenden Gegenstand, so wird von diesem ein Bild s′ s″ hinter der Linse entstehen, welches man ohne merklichen Fehler findet, wenn man von S′ und S″ durch die Mitte der Linse die Hauptstrahlen S′ E, S″ E zieht, und auf deren Verlängerungen E s′ und E s″ der Brennweite der Linse gleich annimmt. Jeder von S′ kommende Strahl S′ F geht demnach durch s′, und jeder von S″ kommende S″ G geht durch s″. Nimmt demnach die Pupille des Auges den Ort s′ s″ ein, so ist es an der vortheilhaftesten Stelle, denn es empfängt die möglich größte Menge der sich interferirenden Strahlen. Liegt der Durchschnittspunct I′ der Richtungen s′ F, s″ G in der Sehweite, so sind es gerade die Strahlen S′ F, S″ G, deren in I vor sich gehende Interferenz die Erscheinung bedingt, die das Auge in I′ sieht. Die mit der Brechung des Lichtes im Prisma verknüpfte Farbenzerstreuung bringt eine Färbung der Interferenzstreifen hervor, welche man bei Anwendung der Spiegel (242) vermeidet. Deßhalb, und weil man durch Aenderung des Winkels der Spiegelflächen eine Mannig-

faltigkeit der Erscheinung hervorrufen kann, die das Prisma nicht gestattet, hat der Spiegelapparat vor diesem einen Vorzug.

Läßt man einen der beiden interferirenden Lichtbündel durch ein sehr dünnes Plättchen aus einer durchsichtigen Substanz gehen, z. B. durch ein Glimmerplättchen, so findet, wie Arago zuerst beobachtet hat, in Folge der Verzögerung, die das Licht bei dem Durchgange erleidet, eine Verschiebung des Interferenzspectrums nach der Seite des betreffenden Strahles hin Statt. Man sieht dieses Phänomen am besten bei Anwendung einer Doppelspalte (229), die man vor das Objectiv eines Fernrohres setzt. Da rücken, wenn eine der Spalten durch das Glimmerblatt gedeckt wird, die Interferenzlinien in das seitwärts liegende Beugungsspectrum hinein. Aus dieser Verschiebung läßt sich die Verzögerung des Lichtes in dem Plättchen berechnen, und wenn die Dicke des Plättchens bekannt ist, auch der Brechungsexponent desselben bestimmen. Diese Methode eignet sich vornehmlich zur Vergleichung des Brechungsvermögens der Gase.

Fünftes Kapitel.

Doppelte Brechung des Lichtes.

274. Im siebzehnten Jahrhundert entdeckte Bartholin in Kopenhagen an einem Krystall von kohlensaurem Kalk oder Kalkspath, der wegen seines häufigen Vorkommens in Island isländischer Krystall genannt wird, die merkwürdige Eigenschaft, Gegenstände, welche durch ihn angesehen werden, doppelt zu zeigen. Man heißt ihn daher und wegen seines blättrigen Gefüges auch isländischen Doppelspath. Bartholin überzeugte sich bald, daß diese Erscheinung durch eine eigenthümliche Einwirkung des Krystalles auf das Licht hervorgebracht werde, und suchte die Gesetze derselben näher zu bestimmen. Es war aber erst Huyghens vorbehalten, diese Gesetze so genau darzustellen, daß selbst Wollaston, Malus, Biot und Fresnel mit allen Hilfsmitteln, die ihnen ihr Genius und die Fortschritte der Wissenschaft darboten, nur Kleinigkeiten daran zu berichtigen vermochten. — Der Doppelspath erscheint gewöhnlich als eine von sechs rhomboidalen Flächen begrenzte Theilgestalt. Da sein Blätterdurchgang mit seinen Flächen parallel ist, so läßt sich durch zweckmäßiges Spalten ein Rhomboeder (Fig. 311) daraus gewinnen, welches demnach seine Kerngestalt ist. An dieser Gestalt kommen zwei einander entgegengesetzte Ecken A und B vor, deren jede von drei gleichen, stumpfen Winkeln gebildet wird, deren Ebenen gegen einander gleich geneigt sind; an jeder der sechs übrigen Ecken finden sich ein stumpfer und zwei einander gleiche spitzige ebene Winkel, und bloß zwei der drei Kantenwinkel sind gleich. Wir wollen erstere Ecken die stumpfen, die andern die spitzigen nennen. Die Linie AB, welche mit den drei Kanten der stumpfen Ecke gleiche Winkel macht, ist die Axe des Körperwinkels A. Sie fällt mit der durch die stumpfen Ecken des Rhomboeders gehenden Diagonale, welche die krystallographische Hauptaxe dieser Gestalt ist, zusammen. Die Axen aller rhomboedrischen Theilungs-

gestalten, welche man sich in einem Doppelspathstücke denken mag, sind einander parallel; jede derselben stellt sich auch in optischer Hinsicht als eine Hauptlinie dar, und wird Axe der doppelten Brechung genannt. Demnach entspricht jedem Puncte eines Doppelspathstückes eine solche Axe. Eine Ebene, welche der gemeinschaftlichen Richtung der Axen parallel ist und auf einer (natürlichen oder künstlichen) ein Doppelspathstück begrenzenden Fläche normal steht, heißt ein Hauptschnitt. Dieser Begriff findet auch bei andern durchsichtigen Körpern Anwendung, denen eine Axe der doppelten Brechung zukommt.

275. Wenn man ein Papier mit einer kleinen Oeffnung versieht, und es auf eine Fläche des Doppelspathes legt, dann durch die Oeffnung einen Lichtstrahl leitet; so bemerkt man, daß derselbe im Krystalle in zwei Bündel getheilt werde, d. h. die doppelte Brechung erleide. Noch besser sieht man dieses mit einem dreiseitigen Prisma aus Doppelspath, das zugleich ein zweifaches Farbenbild gibt. Eine genaue Betrachtung des Ganges der beiden Strahlen, welche aus einem nach verschiedenen Richtungen auf den Doppelspath fallenden Lichtstrahle entspringen, lehrt, daß einer derselben sich nach den gewöhnlichen Brechungsgesetzen richte, und zwar der Sinus seines Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels sich verhalte wie 1,6543 zu 1, oder wie 1 zu 0,6045, während der zweite andere Brechungsgesetze befolgt. Deßhalb heißt ersterer der gewöhnlich gebrochene oder ordentliche, letzterer der ungewöhnlich gebrochene oder außerordentliche Strahl.

Um die Gesetze der doppelten Brechung in diesem Körper zu untersuchen, empfiehlt Malus ein rechtwinkliges, auf Papier oder Elfenbein verzeichnetes Dreieck ABC (Fig. 312), dessen Seite BC viel kleiner ist als AC. Sieht man dieses durch einen Doppelspath an, so erscheint es doppelt, und es wird das ungewöhnliche Bild A′C′ der Seite AC, die Hypotenuse AB in D′ schneiden. Nimmt man nun AD = A′D′, so ist klar, daß ein Strahl von D und einer von D′ beim Ausfahren aus dem Krystalle in die Luft sich zu einem einzigen Strahle vereinigen; deßhalb müßte aber auch ein Strahl, der vom Auge auf den Krystall fiele, in zwei Bündel zerlegt werden, wovon eines nach D′, das andere nach D ginge. Da nun die Lage von D gegen D′, die Dicke des Krystalles und die Lage von AC gegen den Hauptschnitt gegeben ist; so braucht man nur noch den Einfallspunct I des Strahles und seine Neigung gegen MN zu wissen, um den Erfolg der Brechung genau angeben zu können.

276. Durch zweckmäßig eingeleitete Beobachtungen überzeugt man sich, daß die ungewöhnliche Brechung des Lichtes im Doppelspathe nach folgenden Gesetzen vor sich gehe: 1) Fällt ein Lichtstrahl senkrecht auf eine Theilungsfläche des Doppelspathes, wobei der gewöhnlich gebrochene Theil desselben in unveränderter Richtung fortgeht, so wird der ungewöhnlich gebrochene um den Winkel von 6° 12′ 38″ gegen den spitzigen Winkel des Rhomboeders abgelenkt, doch so, daß er in dem durch den Einfallspunct geführten Hauptschnitte liegt. 2) Fällt ein Strahl schief ein, jedoch so, daß seine Einfallsebene die Lage eines Hauptschnittes hat, so bleibt auch der ungewöhnlich gebrochene Strahl

in dieser Ebene, allein der Sinus des Einfallswinkels steht zum Sinus des Brechungswinkels in keinem constanten Verhältnisse, sondern dieses ändert sich mit dem Einfallswinkel; ist die Einfallsebene gegen den Hauptschnitt geneigt, so tritt der ungewöhnliche Strahl überdieß noch aus der Einfallsebene heraus, und wird gleichsam vom Hauptschnitte weggetrieben, und zwar desto mehr, je mehr sich der Winkel, den die Einfallsebene des Strahles mit dem Hauptschnitte macht, einem rechten nähert. Ist dieser Winkel ein rechter, so bekommt diese Ablenkung vom Hauptschnitte ihren größten Werth; dasselbe zeigt sich auch im Allgemeinen, wenn die Fläche des Doppelspathes, welche das einfallende Licht trifft, keine natürliche Theilungsfläche, sondern eine durch Anschleifen des Krystalles erzeugte ist. 3) Schleift man vom Krystalle solche Stücke weg, daß auf der Axe des Krystalles senkrechte Ebenen entstehen, so wird ein Strahl, der senkrecht darauf fällt, weder in zwei Bündel gespalten, noch überhaupt gebrochen. Schief einfallende Strahlen erleiden eine doppelte Brechung; da aber hier jede Einfallsebene eine Hauptschnittsebene ist, so bleibt der ungewöhnlich gebrochene Strahl stets in derselben. 4) Ist die künstlich erzeugte Fläche des Doppelspathes, auf die der Strahl fällt, der Axe des Krystalles parallel, und macht die Einfallsebene mit der Axe einen rechten Winkel, so gehorcht auch der sonst ungewöhnlich gebrochene Strahl den gewöhnlichen Brechungsgesetzen; er bleibt nicht nur in der Einfallsebene, sondern es verhält sich auch der Sinus des Einfallswinkels zu dem Sinus des Brechungswinkels stets wie 1,4833 zu 1 oder wie 1 zu 0,6742. Dieses Verhältniß meint man, wenn von dem Brechungsverhältnisse des ungewöhnlichen Strahles im Doppelspathe die Rede ist.

277. Die Besonderheiten der Brechung des Lichtes im Doppelspathe lassen sich aus der Undulationstheorie vollständig erklären. Es gehört nämlich der Doppelspath zu den Krystallen, welche zwar nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Elasticität zeigen, aber deren Theilchen, und diesen gemäß auch die Theilchen des Aethers, doch so angeordnet sind, daß längs allen auf eine Axe, die mit der vorgenannten optischen Axe übereinstimmt, senkrechten Richtungen einerlei Fortpflanzungsgeschwindigkeit gleichartiger Schwingungsweisen obwaltet. Solcher Schwingungsweisen kommen hier zweierlei in Betrachtung, deren jeder eine eigene Wellenfläche entspricht. Die eine ist eine Kugelfläche; die andere aber ein mit dieser concentrisches Rotationsellipsoid, dessen Rotationsaxe die Lage der optischen Axe des Doppelspathes hat, die kleinere Axe der erzeugenden Ellipse ist, und mit dem Durchmesser der correspondirenden Kugelwelle übereinstimmt, so daß die Kugel das Ellipsoid an den Endpuncten der Rotationsaxe berührt. Trifft nun eine Folge von Aetherwellen die Fläche eines Doppelspathes, so gehen von allen Puncten dieser Fläche als Mittelpuncten sowohl kugelförmige, als ellipsoidische Wellen in das Innere des Doppelspathes. Die ersteren, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit sich zu jener der Aetherwellen in der Luft verhält wie 0,6045 : 1, begründen

das gewöhnlich gebrochene Licht; die andern, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Sinne der optischen Axe die vorgenannte ist, senkrecht darauf aber sich zur Geschwindigkeit des Lichtes in der Luft wie 0,6742 : 1 verhält, begründen das ungewöhnlich gebrochene Licht. Um den Gang des letztern zu finden, haben wir bloß die in 254 gewiesene Methode gehörig zu generalisiren.

278. Wir wollen zuerst annehmen, daß die Einfallsebene des Strahles AB (Fig. 313) zugleich eine Hauptschnittsebene des Doppelspathes sey, d. i. die Axe desselben in sich enthalte, welche die Lage Bz habe. Man beschreibe in dieser Ebene aus B als Mittelpunct mit einem beliebigen Halbmesser BF, wie in 252 einen Halbkreis, zugleich construire man eine Ellipse, deren Mittelpunct B ist, deren eine Hauptaxe in die Bz, mithin deren andere Hauptaxe in die auf Bz senkrechte Bx fällt, und nehme die Dimensionen derselben so an, daß wenn BU, BV die Hälften dieser Axen sind, die Proportion

$$BU : BV : BF = 0{,}6045 : 0{,}6742 : 1$$

Statt findet. Ist nun AB die Richtung eines einfallenden Lichtstrahles, so verlängere man dieselbe (s. 252), bis sie den Halbkreis in H schneidet; ziehe zu H die Tangente HK, und von dem Durchschnittspuncte K der letzteren mit der MN zur Ellipse die Tangente KL. Die Gerade BLE, welche durch B und den Berührungspunct L dieser Tangente geht, ist die Richtung des zum einfallenden Strahle AB gehörenden ungewöhnlich gebrochenen Strahles. Man erhält sogleich auch die Richtung des gewöhnlich gebrochenen Strahles, wenn man aus B mit dem Halbmesser BU (der kleinen Halbaxe der Ellipse, welche zu BF sich verhalt wie 0,6045 zu 1) in Folge des oben angegebenen Verfahrens einen Halbkreis beschreibt, und aus K zu ihm eine Tangente führt. Der Berührungspunct L′ derselben bestimmt die Richtung des gewöhnlich gebrochenen Strahles.

279. Stimmt die Einfallsebene des Strahles AB (Fig. 314) nicht mit einer Hauptschnittsebene des Doppelspathes überein, so befindet sich die Axe der doppelten Brechung Bz außerhalb der Einfallsebene. In diesem Falle beschreibe man wie früher (278) in der Einfallsebene mit einem beliebigen Halbmesser BF einen Halbkreis, und in einer willkürlichen durch die Axe Bz gelegten Ebene die vorhin erwähnte Ellipse mit denselben Abmessungen wie in 278. Stellt man sich jetzt vor, diese Ellipse drehe sich um die feste Linie Bz, so entsteht das oben erwähnte Ellipsoid. Hat man nun für den einfallenden Strahl AB durch den Punct H, in dem seine Verlängerung den Halbkreis trifft, die Tangente HK gezogen, und den Durchschnittspunct derselben mit der Fläche MN des Doppelspathes bestimmt, so ziehe man durch diesen Punct K die auf die Einfallsebene senkrechte Gerade KR (oder was dasselbe heißt, in der Ebene der vom Lichte getroffenen Doppelspathfläche auf die MN, als Durchschnitt der Einfallsebene mit dieser Fläche, durch K eine Senkrechte), und lege durch KR zu dem Ellipsoide eine tangirende Ebene. Der Punct L, in welchem die Berührung Statt findet, liegt in dem zu AB gehörenden ungewöhnlich ge-

brochenen Strahle, wodurch die Richtung BLE desselben bekannt ist. Beschreibt man mit dem Halbmesser BF eine Halbkugel, so ist KR die Durchschnittslinie der zu H gelegten Berührungsebene der Halbkugel mit der Doppelspathfläche, die vom Strahle AB getroffen wird, welche Bemerkung auch dienen kann, die Lage von KR zu finden. Diese allgemeine Construction enthält, wie man leicht sieht, diejenige, welche dem in einer Hauptschnittsebene einfallenden Lichte entspricht, als besondern Fall in sich. Aus ihr folgt auch die in 276 4) angeführte Eigenthümlichkeit der ungewöhnlichen Brechung des Lichtes im Doppelspathe. Steht nämlich die Einfallsebene auf der Richtung der Axe der doppelten Brechung senkrecht, so wird das Ellipsoid von ihr in einem Kreise geschnitten, dessen Halbmesser der größeren Halbaxe der das Ellipsoid erzeugenden Ellipse gleich kommt, und der die Lage des ungewöhnlich gebrochenen Strahles bestimmende Berührungspunct befindet sich stets in der Einfallsebene. Daher stimmt hier die ungewöhnliche Brechung mit der gewöhnlichen überein, nur ist der Brechungsexponent dem reciproken Werthe der größeren Halbaxe der Ellipse gleich.

Aus den Gesetzen der ungewöhnlichen Brechung läßt sich von allen Erscheinungen am Doppelspathe auf das Genaueste der Grund angeben. Ist z. B. ABCD (Fig. 315) ein Hauptschnitt des Krystalles, S ein leuchtender Punct, so wird unter den Strahlen, die er auf CD sendet, einer seyn, dessen gewöhnlich gebrochener Theil FG das Auge O trifft, während sein ungewöhnlich gebrochener Antheil Fgx für dasselbe verloren geht; dafür wird es aber einen andern Strahl SH geben, dessen ungewöhnlich gebrochener Theil HI nach O gelangt, dessen ordentlich gebrochener Hiy aber seitwärts vorbeigeht. Das Auge sieht daher den Punct S zweimal und zwar in den Verlängerungen von OG und OI. Das durch den ordentlich gebrochenen Strahl entstandene Bild wird von D weiter entfernt scheinen, als das vom ungewöhnlich gebrochenen gemachte, weil sich die Strahlen in K kreuzen. Aus dieser Durchkreuzung erklärt sich auch folgende Erscheinung: Hält man einen isländischen Krystall sehr nahe ans Auge, und sieht damit auf einen Punct so, daß man ihn doppelt wahrnimmt, fährt dann mit einem Stückchen Papier längs der untern Fläche hin; so wird derjenige Punct zuerst verdeckt erscheinen, der vom Papier am weitesten absteht. Auf gleiche Weise erklärt man, warum eine mit dem Hauptschnitte parallele Linie einfach gesehen werden kann; warum sich ihr außerordentliches Bild vom ordentlichen entfernt, wenn man den Krystall aus dieser Lage um eine, auf die gesehene Linie senkrechte Axe dreht; warum überhaupt bei diesem Drehen das außerordentliche Bild sich um das ordentliche bewegt u. dgl. m.

Setzt man zwei gleiche dreiseitige Prismen ABC und BDC (Fig. 316) aus Doppelspath zusammen, die so geschnitten sind, daß die Brechungsaxe im ersten auf AB senkrecht ist, im zweiten hingegen mit der Kante C parallel lauft; so wird ein Lichtstrahl SF, der senkrecht auf AB fällt, im ersten Prisma weder gespalten, noch überhaupt von seinem Wege abgelenkt. So wie er aber G trifft, wird ein Theil davon gerade nach H fortgehen, der andere hingegen die ungewöhnliche Brechung erleiden und die Richtung GIK annehmen. Befindet sich nun in H das Auge, so bekommt es nur den Theil GH des Lichtstrahles SF, dafür erhält es aber von einem andern Strahle S′F′ den ungewöhnlich gebrochenen Antheil G′I′H. Wenn auch beide Strahlen von

demselben Puncte ausgegangen sind, so sieht doch das Auge zwei Bilder, und zwar eines nach HS', das andere nach HS''. Diese zwei Bilder stehen bei übrigens gleichen Umständen desto mehr von einander ab, je näher sich das Auge am Prisma befindet; bei einer bestimmten Entfernung des Auges vom Prisma werden sie sich am Rande berühren. Diese Zusammensetzung machte zuerst Rochon, und benützte sie zu einem Mikrometer für Fernröhre. Wird nämlich ein auf die beschriebene Weise verfertigtes Prisma zwischen dem Objectiv eines Fernrohres und seinem Brennpuncte angebracht, so sieht man das Object doppelt, und die beiden Bilder stehen desto weiter von einander ab, je weiter das Mikrometerprisma von dem durch das Objectiv gemachten Bilde entfernt ist; bei einem bestimmten Stande des Prisma's werden sich aber beide Bilder am Rande berühren, und dieser Ort wird desto mehr von den Bildern entfernt seyn, je größer dieselben sind. Daher wird man daraus auf die scheinbare, und mittelst bekannter Entfernung des Objectes auf die wirkliche Größe des Objectes schließen können.

280. Da die Reflexion und Brechung des Lichtes an der Grenze eines durchsichtigen Mediums auf einerlei Grunde, nämlich auf der Erschütterung der Grenztheilchen des Aethers beruhen, von welchen als Mittelpuncten neue Wellen sowohl in das eine, wie in das andere Medium ausgehen, so ist klar, daß ein im Doppelspathe fortgepflanzter, an die Begrenzung desselben gelangender Lichtstrahl im Allgemeinen zwei verschiedene Wellenreihen, und somit auch zwei reflectirte Strahlen liefern müsse. Verzeichnet man nach einem willkürlichen Maßstabe die dem Einfallspuncte als Mittelpuncte entsprechende kugelförmige und die dazu gehörende ellipsoidische Wellenfläche, so kann man, wenn der einfallende Strahl AB (Fig. 317) nicht ein durch ordentliche Brechung entstandener ist, den ihm zugehörigen ordentlichen Strahl A'B finden, d. h. denjenigen, der als ordentlicher Strahl aus einem von außen kommenden Strahle DB, welcher durch Brechung den Strahl BA liefern würde, entstehen müßte. Construirt man nun nach dem gewöhnlichen Reflexionsgesetze für A'B die Richtung BF des reflectirten Strahles, und sucht man nach der oben angedeuteten Methode die Richtung BE des zu BF gehörenden ungewöhnlichen Strahles, so sind BE und BF die beiden Strahlen, welche in Folge der innern Reflexion an der Doppelspathfläche entstehen. Die Richtigkeit dieses Verfahrens läßt sich nach dem bereits Vorgetragenen leicht einsehen.

281. Was hier vom Kalkspathe gelehrt wurde, ist mit den sogleich näher zu bezeichnenden Abänderungen auf das Verhalten des Lichtes in allen zu dem rhomboedrischen und pyramidalen Systeme gehörenden krystallisirten Körpern anwendbar. Alle diese Körper brechen nämlich das Licht doppelt, einer der gebrochenen Strahlen gehorcht dem gewöhnlichen Brechungsgesetze; die Brechung des andern weicht davon ab, aber die Richtung desselben wird ganz nach der in 279 gewiesenen Construction gefunden, nur die numerischen Werthe der Brechungsexponenten oder die Dimensionen der Ellipse, durch deren Rotation das die Richtung des ungewöhnlichen Strahles bestimmende Wel-

lenellipsoid entsteht, variiren mit der materiellen Beschaffenheit des Krystalles, und da zerfallen alle derlei Körper in zwei Klassen. Bei der einen, als deren Repräsentant der Doppelspath gelten kann, ist der Brechungsexponent für die ungewöhnliche Brechung bei Strahlen, welche gegen die Brechungsaxe, die hier zugleich die Krystallaxe ist, geneigt einfallen, kleiner als jener für die gewöhnliche Brechung, die erwähnte Ellipse rotirt um die kleinere Axe, es wird daher der ungewöhnlich gebrochene Strahl von der Axe gleichsam weggetrieben, abgestoßen. Bei Körpern der andern Klasse, zu denen der Bergkrystall gehört, ist für die gegen die Axe geneigten Strahlen der Brechungsexponent des ungewöhnlichen gebrochenen Strahles größer als jener des gewöhnlich gebrochenen, die Ellipse rotirt um die mit der Axe der doppelten Brechung zusammenfallende größere Hauptaxe, und der ungewöhnlich gebrochene Strahl wird zur Axe hingetrieben, angezogen. Man nennt darum die in die erste Klasse gehörenden Körper abstoßende, die in die zweite fallenden anziehende; oder weil man sich vorstellen kann, es bestehe der Brechungsinder für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl bei ersteren aus dem Brechungsinder für den gewöhnlich gebrochenen Strahl weniger einem mit der Neigung der Strahlen gegen die Axe veränderlichen Antheil, bei letzteren aus dem Brechungsinder für den gewöhnlichen Strahl mehr einem veränderlichen Antheile; so heißt man jene auch negative, diese positive. Es ist aber überhaupt das Verhältniß der zwei Brechungsexponenten für die beiden, durch doppelte Brechung gesonderten Strahlenbüschel, mithin auch die doppelt brechende Kraft nicht beständig, sondern hängt von der Temperatur ab, und wird (nach Rudberg) kleiner, wenn die Tenperatur steigt. (Brewster in Gilb. Ann. 69. 1; Biot ebend. 65. 1; Rudberg in Pogg. Ann. 26. 291.)

Bei dem Doppelspathe ist die Axe gegen die natürlichen Flächen des Krystalles stark geneigt, und die doppelte Brechung an und für sich sehr stark, darum bemerkt man sie so leicht; bei den meisten andern doppelt brechenden Körpern hat die Brechungsaxe eine zu den natürlichen Flächen parallele Lage, darum erleiden die auf solche Flächen senkrecht einfallenden Strahlen keine doppelte Brechung, ja selbst schief einfallende werden in zwei so wenig divergirende Lichtbüschel getheilt, daß sich bei der meistens nur geringen Dicke der Krystalle die beiden durch doppelte Brechung entstandenen Bilder fast decken und als Ein Bild erscheinen. Darum muß man solchen Krystallen, um ihre doppelte Brechung deutlich zu erkennen, künstliche, gegen die Axe der doppelten Brechung geneigte Flächen geben. So bemerkt man am Bergkrystalle, der als Combination eines sechsseitigen Prisma's und einer sechsseitigen Pyramide erscheint (Fig. 318), keine Spur einer doppelten Brechung, wenn man einen Gegenstand durch cdmn und ghry ansieht. Schleift man aber ghry so weg, daß eine mit cbd parallele Fläche entsteht, so erscheint das Phänomen einer doppelten Brechung recht deutlich. An kleinen Stücken vieler doppelt brechenden Krystalle erkennt man selbst dann, wenn sie zweckmäßig geschnitten sind, das Phänomen der doppelten Brechung nur aus der Verdoppelung einer dadurch angesehenen, scharfen Nadelspitze, und auch dieß nur, wenn man sich eines Fernrohres bedient.

In Betreff des Bergkrystalles muß noch bemerkt werden, daß das Welleneilipsoid die zugehörende Kugel nicht berührt, sondern die Axe desselben kleiner ist, als der Durchmesser der Kugel; denn selbst parallel mit der Krystallaxe in diesem Körper fortgepflanztes Licht ist aus zwei Strahlen zusammengesetzt, deren Geschwindigkeiten verschieden sind, und die sich mit Hilfe eines später anzugebenden Kunstgriffes sondern lassen.

282. Krystalle, deren Gestalt zu einem der orthotypen (prismatischen) Systeme gehört, brechen das Licht auch doppelt, aber nach ganz andern Gesetzen, als die vorhin betrachteten rhomboedrischen und pyramidalen Körper. Es gibt in den orthotypen Krystallen zwei Richtungen, längs welchen keine doppelte Brechung erfolgt, und die deßhalb optische Axen heißen, während in den rhomboedrischen und pyramidalen sich bloß eine solche Axe vorfindet. Man nennt dem zu Folge die doppelt brechenden Körper ersterer Art auch zweiaxige, zum Unterschiede von den andern, welche einaxige genannt werden. Dazu kommt noch der Umstand, daß die Lage der optischen Axen in den zweiaxigen Krystallen für jede Gattung farbigen Lichtes eine andere ist, und überdieß in manchen auffallend von der Temperatur des Körpers abhängt. Es können sogar bei einer bestimmten Temperatur zwei oder mehrere Paare dieser Axen zusammenfallen, daher die Körper für die betreffenden farbigen Strahlen zu den einaxigen gehören.

Guten Messungen zu Folge beträgt die Neigung der zwei Brechungsaxen bei Salpeter 5° 20′, bei blausaurem Kali 19° 24′, bei Lepidolith 45°, bei Schwerspath 50°, bei Topas 65°, bei schwefelsaurem Eisen 90°. Die Axen des weinsauren Kalinatrums sind für violettes Licht um 56°, für rothes um 76° gegen einander geneigt. Glauberit hat für rothes Licht zwei unter 5° gegen einander geneigte, für violettes aber nur eine Axe. Die Axen des Gipses fallen bei $73\frac{1}{2}$° R. zusammen, bei einer höheren Temperatur gehen sie in einer auf den Hauptschnitt senkrechten Ebene aus einander; überdieß sind dieselben für die verschiedenen Farben bei der gewöhnlichen Temperatur nach Nörrenbergs Erfahrung unsymmetrisch vertheilt (Pogg. Ann. 35, 81; 472). Wie am leichtesten über die Lage der Axen geurtheilt werden kann, wird erst später erhellen.

283. In Krystallen mit zwei Brechungsaxen gibt es keine kugelförmige Lichtwelle, daher auch keinen gewöhnlich gebrochenen Strahl, sondern jeder der zwei Theile, in welche ein einfallender Strahl getheilt wird, befolgt Gesetze, die von den gewöhnlichen abweichen; doch ist diese Abweichung für einen dieser zwei Theile nur gering, und ist deßhalb übersehen worden, bis Fresnel's sorgfältige, auf theoretische Gründe gebaute Untersuchung das Vorhandenseyn derselben kennen lehrte. Wie Fresnel zeigte, kann die Lage der einem einfallenden Strahle entsprechenden gebrochenen Strahlen für zweiaxige Krystalle durch eine der in 279 gewiesenen ähnliche geometrische Construction gefunden werden, statt eines Umdrehungs-Ellipsoides muß man aber dabei eine aus zwei Abtheilungen zusammengesetzte, ihrer Eigenthümlichkeiten wegen auch in rein geometrischer Hinsicht merkwürdige Fläche, welche hier die Wellenfläche ist, gebrauchen, deren Beschaffenheit jedoch

auf elementarem Wege keiner vollständigen Auseinandersetzung fähig ist. Es genügt zu bemerken, daß wenn man durch die beiden Axen, die wir hier, von der Farbenzerstreuung absehend, auf Strahlen von mittlerer Brechbarkeit beziehen, eine Ebene legt, der Durchschnitt dieser Fläche einen Kreis und eine Ellipse darstellt, deren gemeinschaftlicher Mittelpunct (Fig. 319) mit jenem der Fläche zusammenfällt. Die Hauptaxen der Ellipse halbiren die Winkel der beiden optischen Axen; der Halbmesser des Kreises ist kleiner als die größere, und größer als die kleinere Hauptaxe, so daß der Kreis die Ellipse in vier Puncten A durchschneidet. In der Gegend dieser Puncte bildet die Fresnel'sche Fläche trichterförmige Vertiefungen (Hörner), die in Spitzen auslaufen, an deren Enden sich die genannten Puncte A befinden. Zieht man zu dem Kreise und zur Ellipse eine gemeinschaftliche Tangente wie BD, und legt durch diese eine Ebene, auf die Ebene des Schnittes, wodurch der Kreis und die Ellipse erhalten wurden, senkrecht, so ist erstere Ebene eine Berührungsebene der Fläche, welche auf die zugehörige trichterförmige Vertiefung wie ein Deckel paßt, und sämmtliche Berührungspuncte liegen in der Peripherie eines Kreises. Die Schnitte, welche senkrecht auf die hier betrachteten, durch die beiden Axen der Ellipse gehen, liefern gleichfalls Kreise und Ellipsen, aber bei dem einen umschließt der Kreis die Ellipse, bei dem andern die Ellipse den Kreis. Die zwei Geraden BCB, welche durch den Mittelpunct C der Fresnel'schen Fläche senkrecht auf die erwähnten Berührungsebenen an den Mündungen der Hörner gehen, sind die wahren optischen Axen; die zwei Geraden ACA, welche durch den Mittelpunct der Fläche zu den Spitzen A der Hörner gehen, können die scheinbaren optischen Axen genannt werden. Der Winkel, um welchen die scheinbaren Axen von den wahren abweichen, ist in allen bekannten Fällen sehr klein.

284. Auf der Anwesenheit der trichterförmigen Vertiefungen an der Fresnel'schen Fläche beruht die von Hamilton entdeckte und von Lloyd auf experimentalem Wege nachgewiesene conische Brechung, vermöge welcher ein gewisser in einen zweiarigen Krystall eintretender, oder ein aus demselben herausgehender Strahl in einen hohlen Strahlenkegel aufgelöset wird. Erstere heißt die innere, letztere die äußere conische Brechung. Entspricht nämlich einem eintretenden Strahle zur Bestimmung der Richtungen der gebrochenen Strahlen gerade jene Berührungsebene der Fresnel'schen Fläche, welche die Mündung eines Trichters schließt, so finden unendlich viele in der Peripherie eines Kreises liegende Berührungspuncte, mithin auch unendlich viele auf der Oberfläche eines Kegels vertheilte Strahlen Statt, welche, wenn die Austrittsfläche am Krystalle der Eintrittsfläche des Lichtstrahles parallel ist, beim Austritte einen Strahlencylinder geben, dessen Basis dem Querschnitte des Kegels an der Austrittsfläche gleich, und dessen Axe der Richtung des einfallenden Strahles parallel ist. An der Spitze eines Hornes gibt es ferner unendlich viele Berührungsebenen der Fresnel'schen Fläche, deren jede auf

einen andern äußeren Strahl sich bezieht, und alle diese Strahlen liegen in der Oberfläche eines Kegels. Dieser Kegel würde sich beim Eintreten in den Krystall auf einen einzigen Strahl reduciren, der in der Richtung einer scheinbaren optischen Axe fortginge, daher muß umgekehrt ein nach der Richtung einer solchen Axe austretender Strahl sich in einen Strahlenkegel auflösen. (Pogg. Ann. 28. 91.)

285. Außer den krystallisirten Körpern bewirken auch Glas, das nach einer Seite zusammengedrückt oder erhitzt und dann schnell abgekühlt worden ist, ferner viele eingedickte, vegetabilische und thierische Substanzen doppelte Brechung. Die Beschaffenheit der doppelten Brechung krystallisirter Körper wird durch Druck geändert. Ein vierseitiges, rechtwinkliges, etwa 1 Zoll dickes Glasprisma, das nach der Richtung der Axe mittelst einer kleinen eisernen Presse nur mäßig zusammengedrückt wird, zeigt eine vorgehaltene Nadelspitze deutlich doppelt. Fresnel erhielt an einem aus 9 Glasprismen zusammengesetzten Parallelepiped, dessen Bestandtheile abwechselnd etwas höher waren und mittelst einer Presse gedrückt werden konnten, während die Zwischenstücke ungedrückt blieben, zwei Bilder, die in der Distanz eines Meters um 1½ Millimeter von einander abstanden. Guerard leistete dasselbe mit einer ähnlichen Zusammensetzung aus gekühlten mit ungekühlten abwechselnden Glasprismen. Ein Quarzstück erhält durch einseitige Pressung zwei Axen der doppelten Brechung. Ein Glascylinder, der zur Rothglühhitze gebracht und dann mit seiner Cylinderfläche auf einer kalten Metallplatte hin- und hergerollt wird, erhält durch das schnelle Abkühlen eine positive Axe der doppelten Brechung, welche mit seiner geometrischen Axe zusammenfällt. Ist dieser Cylinder elliptisch, so erhält er gar zwei Brechungsaxen.

Diese Axen sind aber von denen der krystallisirten Körper wesentlich verschieden. Solche Körper besitzen in ihren kleinsten Theilchen dieselbe doppelt brechende Kraft, und eine Brechungsaxe ist nicht eine fixe Linie, sondern eine fixe Richtung. Ein durch Abkühlen, Druck ꝛc. mit doppelt brechender Kraft versehener Körper hingegen hat in einer bestimmten Linie das größte doppelt brechende Vermögen, und die Brechungsaxe hat an jeder einzelnen Stelle im Körper eine bestimmte Lage, nicht bloß nur im Allgemeinen eine bestimmte Richtung.

286. Wenn man von irgend einem das Licht doppelt brechenden Körper nach gehöriger Weise ein dreiseitiges Prisma schleifen läßt, und einen Lichtstrahl durchleitet; so wird man zwei Spectra erhalten, in welchen die Farben in vielen Fällen auf vollkommen gleiche, in besondern Fällen, z. B. bei dem oxalsauren Chromoxyd-Kali, auf verschiedene Weise angeordnet sind, und in welchen man auch die dunklen Linien (212) bemerken kann. Diese bieten auch hier ein Mittel dar, die Werthe des Brechungsexponenten für verschiedenfarbige Strahlen, mithin auch die Größe der Farbenzerstreuung in beiden Bildern kennen zu lernen. Versuche dieser Art haben gelehrt, daß die Farbenzerstreuung nicht für beide Theile, in welche ein Strahl durch doppelte Brechung gespalten wird, dieselbe Größe habe, und daß das Verhält-

niß der Zerstreuung desselben Strahles in beiden Farbenbildern in verschiedenen Krystallen verschieden sey. (Pogg. Ann. 14. 45; 37. 317.)

287. Körper, welche das Licht einfach brechen, haben gewöhnlich, wenn sie durchsichtig sind, im durchgelassenen Lichte nach allen Richtungen dieselbe Farbe; doppeltbrechende hingegen besitzen nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Färbung, d. h. Dichroismus. Dieses rührt davon her, daß schon die zwei durch doppelte Brechung getrennten Strahlenbüschel eine verschiedene, von ihrer Neigung gegen die Brechungsaxe abhängige Farbe haben, und daß auch in verschiedener Richtung verschiedenfarbige Strahlen absorbirt werden. In der gelblichen Varietät des Doppelspathes ist das ungewöhnliche Bild längs der Axe stets von orangegelber, das gewöhnliche von gelblichweißer Farbe, und dieser Farbenunterschied der zwei Bilder wächst mit der Neigung der Strahlen gegen die Axe. Aehnliche Phänomene bemerkt man an vielen andern doppelt brechenden Krystallen. Der Dichroit erscheint längs der Axe der doppelten Brechung röthlich, in einer darauf senkrechten Richtung hingegen blau ꝛc. Durch Temperaturänderung kann dieser Dichroismus oft gesteigert werden. So z. B. fand Brewster in einer Varietät des brasilianischen Topases, wo eines der zwei Strahlenbüschel gelb, das andere braun erschien, daß durch Rothglühhitze die Farbe des ungewöhnlichen Strahles sehr, jene des gewöhnlichen fast gar nicht afficirt wird.

Sechstes Kapitel.

Polarisation des Lichtes.

288. Im Vorhergehenden wurde, bei der Betrachtung der Reflexion und Brechung des Lichtes lediglich die Aenderung, welche die Richtung desselben erleidet, in das Auge gefaßt, die Aenderung aber, welche dabei an der Intensität des Lichtes vor sich geht, unbeachtet gelassen. Verfolgt man die Erscheinungen des Lichtes in letzterer Hinsicht, so eröffnet sich der Forschung ein eben so fruchtbares, als interessantes Gebiet, nämlich jenes der Phänomene des polarisirten Lichtes, dessen Bearbeitung ausschließend der neuesten Zeit angehört, und zur Feststellung der Undulationstheorie am kräftigsten beigetragen hat. Setzt man jede hypothetische Vorstellung über die Natur des Lichtes bei Seite, und sieht man bloß auf das, was sich unmittelbar in Thatsachen ausspricht, so wird man auf den Begriff der Polarisation des Lichtes durch die Wahrnehmung geführt, daß es Lichtstrahlen gibt, welche, nach verschiedenen ihre Richtung in sich enthaltenden Ebenen betrachtet, verschiedene Eigenschaften besitzen, so zwar, daß wenn Fig. 320 den Querschnitt eines cylindrischen Bündels solchen Lichtes vorstellt, und AA′, BB′ zwei auf einander senkrechte Durchmesser dieses Querschnittes sind, der Strahl in A, A′ dieselben, in

B, B' wieder einerlei, aber den vorgenannten entgegengesetzte Eigenschaften besitzt.

289. Eines der Fundamentalfacta der Lichtpolarisation war schon Huyghens bekannt, ohne daß jedoch der große Geometer vermocht hätte, den engen Zusammenhang zu ahnen, in welchem es mit der Wellentheorie des Lichtes steht, deren erste Grundzüge er selbst mit so ausgezeichnetem Scharfsinne entworfen hatte. Die Thatsache ist folgende: Stellt man zwei Doppelspathe so über einander, daß ihre Hauptschnitte einander parallel sind, so wird jener Theil eines einfallenden Lichtstrahles, welcher im ersten auf die gewöhnliche Art gebrochen wurde, auch im zweiten auf die gewöhnliche Weise gebrochen, und derjenige, welcher im ersten die ungewöhnliche Brechung erlitt, erleidet sie auch im zweiten. Man sieht daher durch beide Doppelspathe nur zwei Bilder des leuchtenden Gegenstandes gerade so, wie es der Fall wäre, wenn beide Doppelspathe ein einziges Stück ausmachten, dessen Dicke so groß ist, als die Dicken der ersteren zusammengenommen. Stehen aber die Hauptschnitte beider Krystalle auf einander senkrecht, so erfährt jener Theil des einfallenden Strahles, der im ersten die ungewöhnliche Brechung erlitt, im zweiten die gewöhnliche und umgekehrt; man sieht daher wieder nur zwei Bilder. Bei jeder andern Lage der beiden Hauptschnitte gegen einander wird sowohl der im ersten Krystalle auf die gewöhnliche, als auch der auf die ungewöhnliche Art gebrochene Strahl im zweiten wieder in zwei Theile zerlegt; man sieht daher vier Bilder. Diese haben eine gleiche Intensität, wenn die beiden Hauptschnitte um 45° gegen einander geneigt sind; bei jeder andern Neigung der Hauptschnitte gegen einander, ist ihre Intensität verschieden.

290. Diese Erscheinung lehrt, daß die doppelte Brechung dem Lichte eine eigenthümliche Modification ertheilt, der zu Folge es sich vom gewöhnlichen Lichte unterscheidet; sie blieb aber durch anderthalb Jahrhunderte nicht bloß ein unerklärtes, sondern auch ein ganz isolirtes Factum, bis Malus im J. 1810 die Entdeckung machte, daß dieselbe Modification dem Lichte auch dadurch eingeprägt werden kann, daß man es unter gewissen Winkeln von polirten Flächen nicht metallischer Körper reflectiren, oder durch getrennte Schichten durchsichtiger Körper hindurchgehen läßt. Fällt nämlich ein Lichtstrahl von Luft auf Glas unter einem Winkel von 54° 35' gegen das Einfallsloth, oder unter 35° 25' gegen die Ebene des Glases, und fängt man ihn nach erlittener Reflexion mit einem Doppelspathe auf, so erleidet der Strahl nur die gewöhnliche Brechung, falls der Hauptschnitt des Krystalles mit der Reflexionsebene parallel ist; hingegen nur die ungewöhnliche, wenn der Hauptschnitt auf der Reflexionsebene senkrecht steht. In jeder andern Lage des Hauptschnittes gegen die Reflexionsebene findet doppelte Brechung Statt, aber die beiden Strahlenbüschel sind nur dann gleich intensiv, wenn die zwei genannten Ebenen unter 45° gegen einander geneigt sind. Dasselbe zeigt sich an dem von einer Wasserfläche reflectirten Lichte, wenn die Neigung des Strahles gegen diese

Fläche 37° beträgt. Macht man diesen Versuch mit den unter demselben Einfallswinkel durch mehrere ebene Glasplatten geleiteten, also gebrochenen Theil des auffallenden Lichtstrahles; so bemerkt man ähnliche Phänomene, nur mit dem Unterschiede, daß der Strahl ganz auf die gewöhnliche Weise gebrochen wird, wenn die Brechungsebene auf dem Hauptschnitte senkrecht steht, hingegen ganz auf die ungewöhnliche Weise, wenn diese Ebenen mit einander parallel sind. Es erlangt daher der unter obigem Winkel von Glas reflectirte Strahl die Eigenschaft des im Doppelspath gewöhnlich gebrochenen, der gebrochene die des ungewöhnlich gebrochenen Strahles, und die beiden Lichtbüschel, in welche der auf Glas fallende Strahl getheilt wird, und deren eines reflectirt, das andere gebrochen wird, verhalten sich, wie die beiden durch doppelte Brechung von einander getrennten Theile.

291. Man kann diesen Versuch auch umgekehrt anstellen, und statt den von Glas reflectirten oder gebrochenen Strahl auf einen Doppelspath zu leiten, die schon in einem Doppelspath in zwei Bündel getheilten Büschel auf eine Glastafel auffallen lassen. In diesem Falle ist es gut, wenn man ein achromatisches Doppelspathprisma anwendet, mit welchem die zwei Strahlenbüschel so stark divergirend gemacht werden, daß man jeden einzelnen für sich auf das Glas leiten kann. Läßt man nun den gewöhnlich gebrochenen Strahl auf ein Glas unter 35° 25′ fallen; so wird ein Theil desselben unverändert reflectirt, ein anderer durchgelassen, wenn die Einfallsebene des Strahles auf Glas mit dem Hauptschnitte des Krystalles parallel ist, hingegen wird kein Theil des Strahles zurückgeworfen, sondern derselbe vollständig durchgelassen, oder (falls das Glas geschwärzt ist) absorbirt, wenn diese beiden Ebenen auf einander senkrecht stehen. Mit dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle findet das Gegentheil Statt. Dieser wird bei oben angegebener Neigung gegen die Ebene des Glases vollständig durchgelassen oder absorbirt, wenn die beiden oben genannten Ebenen mit einander parallel sind. Stehen diese Ebenen auf einander senkrecht, so findet partielle Reflexion und Transmission, jedoch ohne Aenderung der Beschaffenheit des Strahles, Statt. Bei einer schiefen Stellung der Einfallsebene des einen oder des andern der beiden doppelt gebrochenen Strahlen gegen den Hauptschnitt des Doppelspathes, mit oder ohne Veränderung des Einfallswinkels, erfolgt nebst der theilweisen Reflexion und Transmission, noch eine Aenderung in der Beschaffenheit des Strahles, die einer Drehung der Hauptschnittsebene des Doppelspathes, der den Strahl geliefert hat, gleichgilt.

292. Es ist nun nicht schwer, vorherzusehen, wie sich ein auf Glas unter 35° 25′ auffallender Strahl nach der Reflexion oder Brechung verhalten wird, wenn man ihn unter demselben Winkel wieder auf eine Glasplatte auffallen läßt. Es wird nämlich der Strahl, welcher von einer Glastafel unter 35° 25′ reflectirt worden ist, und unter demselben Winkel auf eine zweite Glastafel fällt, zum Theil ungeändert reflectirt, zum Theil ungeändert durchgelassen, wenn die Einfallsebenen in beiden Gläsern mit einander parallel sind, hingegen vollstän-

dig und ungeändert durchgelassen, oder, falls das Glas geschwärzt ist, absorbirt, wenn jene Ebenen auf einander senkrecht stehen; in jeder Zwischenlage aber, bei einer jeden Neigung gegen die zweite Glasplatte wieder in verändertem Zustande zum Theile reflectirt, zum Theile durchgelassen oder absorbirt. Das Gegentheil geschieht mit dem durch mehrere auf einander gelegte Glasplatten gebrochenen Strahle. Die Eigenschaften eines von Glas reflectirten oder gebrochenen Strahles besitzt auch ein solcher, der von vielen andern Körpern unter einem bestimmten Winkel reflectirt oder gebrochen worden ist, und es wurde vorher nur das Glas angeführt, um einen besondern Fall vor Augen zu haben.

293. Malus suchte diese Erscheinungen nach der zu seiner Zeit noch allgemein herrschenden Emissionstheorie des Lichtes zu deuten. Er nahm an, daß die Lichttheilchen, kleinen Magneten ähnlich, mit Polen versehen seyen, die in einem aus doppelter Brechung hervorgehenden oder durch Reflexion unter dem schicklichen Winkel erhaltenen Strahle übereinstimmende Stellungen erlangt haben, weßwegen er einen solchen Strahl einen polarisirten nannte, während die Lichttheilchen in einem gewöhnlichen oder unpolarisirten Strahle nach dieser Vorstellungsweise alle möglichen Richtungen haben. Um jedoch für die Angabe dieser Anordnung einen sicheren Anhaltspunct zu gewinnen, nannte man seit der Entdeckung der neueren Polarisationsphänomene, die Hauptschnittsebene eines Doppelspathes in Bezug auf den gewöhnlich gebrochenen Strahl, oder die Reflexionsebene eines von einer Glastafel unter dem Neigungswinkel von 35° 25′, dem Polarisationswinkel, reflectirten Strahles in Bezug auf diesen die Polarisationsebene. Hiernach erklärt sich der Sinn der Redensart: »die Polarisationsebenen des gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochenen Strahles oder des von einer Glastafel unter dem gehörigen Winkel reflectirten und des von einer Reihe von Glastafeln durchgelassenen Strahles stehen auf einander senkrecht, oder diese Strahlen sind entgegengesetzt polarisirt« von selbst. Diese Benennungen haben sich auch noch erhalten, nachdem man die Polarisationserscheinungen besser zu deuten wußte, und wurden in die Undulationstheorie übertragen. Nur muß man in dieser Theorie annehmen, daß die Schwingungen der Aethertheilchen, welche in allen diesen Fällen geradlinig vor sich gehen, senkrecht gegen die Polarisationsebene des Strahles erfolgen, wodurch ein Unterschied zwischen Polarisationsrichtung und Schwingungsrichtung erwächst. Beide stehen auf einander und auf dem betreffenden Lichtstrahle senkrecht, und erstere liegt in der Polarisationsebene, letztere senkrecht gegen dieselbe.

294. Unterstützt durch die Mechanik der Vibrationen elastischer Medien, so wie selbe von Fresnel zuerst entworfen und von Cauchy fest begründet wurde, vermag die Undulationstheorie von den vorgenannten Erscheinungen eine vollkommen befriedigende Erklärung zu geben. Gelangt Licht an die Grenze eines doppelt brechenden Körpers, z. B. eines Doppelspathes, und ist der einfallende Strahl we-

der im Hauptschnitte, noch senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirt, so können die Vibrationen, welche den an der Oberfläche des Körpers befindlichen Aethertheilchen mitgetheilt werden, nicht unverändert in das Innere dieses Körpers fortschreiten. Es vermag nämlich ein Körper dieser Art nach einer nicht mit einer optischen Axe zusammenfallenden Richtung bloß geradlinige Lichtvibrationen, und unter diesen bloß solche, die entweder in der Ebene des Hauptschnittes oder senkrecht gegen diese Ebene Statt finden, unverändert fortzupflanzen; auch erfolgt die Fortpflanzung beider Arten von Vibrationen mit verschiedenen Geschwindigkeiten. Diese Geschwindigkeit ist bei einaxigen Krystallen für das im Hauptschnitte polarisirte Licht, welches in Schwingungen senkrecht gegen den Hauptschnitt besteht, nach allen Richtungen dieselbe, oder die Wellenfläche hat eine sphärische Gestalt; für das senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirte Licht aber, das in Schwingungen besteht, deren Richtung in die Ebene des Hauptschnittes fällt, ändert sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit der Richtung, und die Wellenfläche ist ein Ellipsoid, welches durch Umdrehung der Ellipse um eine ihrer Hauptaxen entsteht. Fällt nun ein Lichtstrahl auf den Krystall, und zerlegt man die wie immer beschaffene, jedoch jedenfalls in einer auf die Fortpflanzungsrichtung oder den Lichtstrahl senkrechten Ebene vor sich gehende Schwingung eines Aethertheilchens im einfallenden Strahle in zwei geradlinige Schwingungen, wovon die eine senkrecht gegen die Ebene des Hauptschnittes, die andere in dieser Ebene erfolgt, so kann man den einfallenden Strahl als den Inbegriff zweier Strahlen betrachten, die einerlei Richtung und Geschwindigkeit haben, und wovon der eine im Hauptschnitte, der andere senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirt ist. Jeder dieser Strahlen erzeugt in dem doppelt brechenden Mittel einen Strahl von gleichem Polarisationszustande, indem die Elementarwellen, die von den an der Grenzfläche erschütterten Aethertheilchen ausgehen, nur nach einer gewissen Richtung im Einklange wirken, nach andern Richtungen aber sich wechselseitig tilgen. Wegen der verschiedenen Form dieser Wellen für die zwei so eben unterschiedenen Schwingungsweisen erhalten die resultirenden zwei Strahlen verschiedene Richtungen, wie dieß bereits im vorhergehenden Kapitel erklärt wurde. Hiernach läßt sich nun einsehen, wie es kommt, daß ein geradlinig polarisirter Lichtstrahl, der in einen Doppelspath eindringt, nur dann zwei Bilder von gleicher Lichtstärke liefert, wenn seine Polarisationsebene mit dem Hauptschnitte einen Winkel von 45° macht, und daß bei einem kleineren Winkel beider Ebenen das gewöhnliche, bei einem größeren das ungewöhnliche Bild das intensivere ist. Im ersten Falle sind nämlich beide Componenten des Lichtstrahles gleich stark; im zweiten hat die nach dem Hauptschnitte, im dritten die senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirte Componente das Uebergewicht. Anders verhält es sich mit dem unpolarisirten Lichte; da haben diese Componenten rasch hinter einander alle möglichen Größen, von Null angefangen bis zur Intensität des einfallenden Strahles, und der Effect beider fällt daher gleich aus.

295. Auch die Polarisation des Lichtes durch Reflexion läßt sich nach den Principien der Undulationstheorie erklären. Nach den Gesetzen der höheren Mechanik ergibt sich das merkwürdige Resultat, daß die Amplitude der Vibrationen in einer Aetherwelle, die an einer einfach brechenden Substanz reflectirt wird, von dem Einfallswinkel, dem Brechungswinkel und überdieß vom Polarisationszustande der Welle abhängt, und daher für Schwingungen, die senkrecht gegen die Einfallsebene vor sich gehen, nach einem andern Gesetze bestimmt wird, als für solche, deren Richtungen in der Einfallsebene liegen. Setzt man die Amplitude oder die Schwingungsintensität im einfallenden Strahle = 1, im reflectirten, wenn die Schwingungen senkrecht gegen die Einfallsebene geschehen = R, und wenn dieselben in der Einfallsebene Statt finden = R', so hat man für Glas, Wasser und ähnliche Medien

$$R = -\frac{\sin(a-b)}{\sin(a+b)},\ R' = \frac{\sin 2a - \sin 2b}{\sin 2a + \sin 2b}.$$

Die Quadrate dieser Ausdrücke geben die Intensität des betreffenden reflectirten Strahles an, wenn die Intensität des einfallenden Lichtes = 1 angenommen wird.

Hat der einfallende Strahl eine solche Richtung, daß $\sin 2a = \sin 2b$ ausfällt, so wird $R' = 0$. Dieß setzt voraus, daß $2a + 2b = 180°$, also $a + b = 90°$ sey, mithin die Richtung des gebrochenen Strahles auf jener des einfallenden senkrecht stehe, ein Resultat, welches nicht bloß die Möglichkeit rechtfertigt, daß ein senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirter Lichtstrahl gar keinen reflectirten Lichtstrahl liefere, sondern auch den Einfallswinkel angibt, unter welchem dieser Fall eintritt, dessen Ergänzung zu 90° der im Vorhergehenden sogenannte Polarisationswinkel ist. Nennt man den Brechungsexponenten n, so ist $\sin a = n \sin b$, und da nach Obigem $\cos a = \sin b$ folgt, so hat man $\tan a = n$. Das durch die Formel $a + b = 90°$ ausgesprochene Gesetz hat zuerst Brewster auf dem Wege der Erfahrung entdeckt.

296. Da man eine jede auch krummlinige Schwingung immer in zwei geradlinige Schwingungen zerlegen kann, deren eine in irgend welche durch den Strahl gelegte Ebene fällt, die andere dagegen senkrecht ist, so läßt sich jeder auf eine spiegelnde Fläche einfallende Lichtstrahl aus zwei Strahlen zusammengesetzt denken, deren einer senkrecht gegen die Einfallsebene, der andere in der Einfallsebene polarisirt ist. Wählt man nun den Einfallswinkel so, daß die reflectirende Fläche, z. B. eine Glasplatte, unfähig ist, von dem ersteren Strahle irgend einen Theil zu reflectiren, so kann bei dieser Incidenz (51° 35') der reflectirte Strahl bloß von dem in der Einfallsebene polarisirten Antheile des einfallenden Lichtes herrühren; er wird also lediglich aus Licht letztgenannter Art bestehen. Im durchgelassenen Lichte wird dem gemäß (abgesehen von der Absorption) alles der Reflexion entgangene Licht, mithin alles im einfallenden Lichte vorhanden gewesene senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirte mit einem geringen Antheile in der Einfallsebene polarisir-

ten Lichtes gemengt enthalten seyn. Fällt dieses auf eine zweite mit ersterer parallele Glasplatte, so enthält der durchgelassene Strahl noch weniger von dem in der Einfallsebene polarisirten Lichte, und dieses wird, bei Anwendung einer hinreichenden Anzahl Glasplatten, endlich ganz unmerklich, so daß das durchgehende Licht lediglich aus senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirten Strahlen besteht.

297. Fällt ein polarisirter Lichtstrahl unter einem beliebigen Winkel auf eine geschwärzte Glasplatte, und stimmt die Polarisationsebene desselben mit der Einfallsebene überein, oder bilden diese Ebenen einen rechten Winkel, so trägt der reflectirte Strahl genau die Beschaffenheit des einfallenden an sich; er ist wie dieser polarisirt, und nur hinsichtlich der Intensität von ihm verschieden. Ist aber die Polarisationsebene des einfallenden Strahles unter einem schiefen Winkel gegen die Einfallsebene geneigt, so erscheint der reflectirte Strahl auch noch als ein polarisirter, allein seine Polarisationsebene macht, den Fall der senkrechten Incidenz ausgenommen, mit der Einfallsebene einen andern Winkel als vor der Reflexion. Dasselbe gilt auch bei der Reflexion des polarisirten Lichtes von Wasser und andern durchsichtigen Medien.

Man kann das Gesetz dieser Drehung der Polarisationsebene durch Reflexion an der Oberfläche einfach brechender Substanzen aus den in 295 angeführten Formeln ableiten, wenn man den einfallenden Strahl in seine Componenten zerlegt, die Intensitäten der aus denselben entspringenden reflectirten Strahlen bestimmt, und aus letzteren den resultirenden reflectirten Strahl ableitet. Ist a der Einfallswinkel des polarisirten Strahles, b der Brechungswinkel für das in die durchsichtige Substanz eindringende Licht, φ der Winkel, den die Polarisationsebene des einfallenden Lichtes mit der Einfallsebene macht, ψ dieser Winkel für das reflectirte Licht, so findet man auf diesem Wege die bereits von Fresnel aufgestellte Gleichung:

$$tang\ \psi = tang\ \varphi \cdot \frac{cos\,(a+b)}{cos\,(a-b)}.$$

Die Richtigkeit derselben wurde besonders von Brewster durch zahlreiche Versuche bewiesen.

Eine ähnliche Bewandtniß hat es mit dem in ein einfach brechendes Medium eindringenden Theile eines polarisirten Lichtstrahles. Auch hier findet im Allgemeinen eine Drehung der Polarisationsebene Statt. Behalten wir die früheren Bezeichnungen bei, und nennen wir den Winkel, den die Polarisationsebene des gebrochenen Strahles mit der Einfallsebene macht, ω, so gilt die sowohl durch die Theorie gerechtfertigte, wie auch von Brewster auf experimentellem Wege scharf geprüfte Gleichung.

$$tang\ \omega = \frac{tang\ \varphi}{cos\,(a-b)},$$

aus welcher sich alle hier vorkommenden Einzelnheiten leicht entnehmen lassen.

298. Ein gewöhnlicher Lichtstrahl, der auf einen Körper unter einem Winkel auffällt, der größer oder kleiner ist als der Polarisationswinkel, erscheint nach der Reflexion oder Brechung nicht als ein polarisirter, dies Wort in der bisher gebrauchten Bedeutung genom-

men, denn er gibt mittelst eines Doppelspathes selbst dann noch zwei Bilder, wenn der Hauptschnitt des letzteren mit der Einfallsebene parallel ist, doch sind diese zwei Bilder nicht wie beim unpolarisirten Lichte gleich hell, sondern eines überwiegt das andere an Helligkeit desto mehr, je näher der Einfallswinkel an dem reflectirenden oder brechenden Körper dem Polarisationswinkel steht. Ein solcher Strahl hat demnach zum Theile die Eigenschaften eines gewöhnlichen, zum Theile jene eines polarisirten an sich, und heißt deßhalb unvollkommen polarisirt. Betrachtet man das gemeine Licht als zusammengesetzt aus zwei rechtwinklig polarisirten Hälften, und untersucht die Drehung der Polarisationsebene einer jeden, so läßt sich einsehen, wie es kommt, daß ein sogenannter unvollkommen polarisirter Strahl durch mehrere auf einander folgende Reflexionen oder Brechungen unter Winkeln, die vom Polarisationswinkel abweichen, zu einem vollkommen polarisirten wird.

Nicht jeder einfach brechende Körper vermag das Licht vollkommen zu polarisiren. Ein Beispiel davon liefert der Diamant. Dieser Umstand läßt sich, wie Cauchy gefunden hat, gleichfalls theoretisch nachweisen (Pogg. Ann. 50. 409). Auch die Gesetze der Polarisation durch Reflexion an doppelt brechenden Körpern sind bereits dem Calcul unterworfen worden. Mac-Cullagh, Seebeck, Neumann haben hieher gehörende Formeln angegeben. (S. Neumann's Abhandlung: Ueber den Einfluß der Krystallflächen bei der Reflexion des Lichtes. Berlin, 1837. Derselbe in Pogg. Ann. 40. 497; 42. 1. Seebeck ebend. 38. 276; 40. 462.)

299. Aus dem Vorhergehenden erhellet von selbst, wie man sich durch Reflexion und Transmission, und im letzteren Falle sowohl durch einfache, wie auch durch doppelte Brechung polarisirtes Licht verschaffen, und wenn ein Strahl gegeben ist, denselben in Absicht auf seinen Polarisationszustand untersuchen könne. Bei Anwendung doppelt brechender Substanzen ist oft die geringe Trennung beider polarisirten Strahlen störend; doch kann auch einer dieser Strahlen entweder durch die natürliche Beschaffenheit des polarisirenden Körpers in Folge einer Absorption oder Zerstreuung wegfallen, oder er kann durch totale Reflexion bei Seite geschafft werden. Durch Absorption polarisirt der Turmalin; durch Zerstreuung eine Achatplatte; auf der Beseitigung eines der zwei durch doppelte Brechung sich ergebenden Strahlen mittelst totaler Reflexion beruht die Einrichtung des Nicol'schen Doppelspathrhomboeders.

Ein Plättchen aus einem Turmalinkrystall, das parallel mit der Krystallaxe gespalten ist, absorbirt von einem darauf fallenden Strahle den ordentlich gebrochenen, nach der Richtung der Axe polarisirten Theil, und läßt den andern, d. i. den außerordentlich gebrochenen, senkrecht gegen die Axe polarisirten, durch. Ein solches Plättchen ist daher für darauf fallendes bereits polarisirtes Licht undurchsichtig, wenn die Polarisationsebene der Axe des Plättchens parallel ist. Deßhalb geht durch zwei Turmalinplättchen, deren Axen sich kreuzen, kein Licht durch, während sie, wenn die Axen parallel sind, Licht reichlich durchlassen. Es dürfen aber, damit dieser Erfolg befriedigend eintrete, die

Plättchen nicht zu dünn seyn. Betrachtet man einen schmalen hellen Gegenstand durch ein dreiseitiges Turmalinprisma, dessen brechender Winkel klein ist, und seine Kante mit der Krystallaxe parallel hat, so erscheint der Gegenstand doppelt, wenn das Licht nahe an dieser Kante durch das Prisma geht; läßt man aber das Licht nach und nach durch Stellen gehen, die von der Kante entfernt sind, mithin eine größere Dicke haben; so wird das durch gewöhnliche Brechung entstandene Bild dunkler, und verschwindet zuletzt gänzlich. Eine parallel mit der Krystallaxe geschnittene Turmalinplatte ist demnach ein treffliches Mittel, um in einer bestimmten Richtung polarisirtes Licht zu erhalten, oder auch um zu prüfen, ob ein in das Auge eindringender Lichtbündel polarisirt sey, und welche Lage dessen Polarisationsebene habe. Ist man über die Lage der Axe eines solchen Turmalinplättchens in Ungewißheit, so läßt sich dieselbe leicht finden. Man sehe, das Plättchen vor das Auge haltend, in schiefer Richtung gegen eine geschwärzte, vom Tageslichte beleuchtete Glasplatte, oder auch nur gegen einen polirten Tisch, und drehe dabei das Plättchen um eine auf seiner Ebene senkrechte Gerade herum, so zeigt sich das Gesichtsfeld während einer Umdrehung zweimal in größter Helligkeit und zweimal in größter Dunkelheit. So oft letzteres der Fall ist, befindet sich die optische Axe des Plättchens in der Reflexionsebene des Lichtes. Findet man, daß bei einer bestimmten Stellung des Plättchens ein auf selbes senkrecht einfallender Lichtstrahl gänzlich verschluckt wird, so ist dieser polarisirt, und seine Polarisationsrichtung stimmt mit der Axe des Plättchens überein. Gesetzt, man habe ein dreiseitiges Prisma aus Bergkrystall, dessen Seitenflächen mit der Krystallaxe parallel geschnitten sind, so aufgestellt, daß die Kante des brechenden Winkels horizontal und abwärts gekehrt ist, und man betrachte damit einen etwas entfernten horizontalen weißen Papierstreifen. Man erblickt unter dem Gegenstande zwei über einander gestellte, wegen der Farbenzerstreuung gefärbte, jedoch deutlich getrennte Bilder, die hier beide nach den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung des Lichtes entstehen. Da die ungewöhnliche Brechung im Bergkrystalle anziehend erfolgt, so ist im vorliegenden Falle der Brechungsexponent für den ordentlichen Strahl kleiner als für den außerordentlichen; demnach entspricht das höher stehende Bild der ordentlichen, das tiefere der außerordentlichen Brechung des Lichtes. Bringt man nun ein Turmalinplättchen zwischen das Prisma und das Auge, und befindet sich die Axe desselben in einer Verticalebene, d. h. in der Stellung, in der das von einer horizontalen geschwärzten Platte schief kommende Licht aufgehalten wird, so verschwindet das tiefere Bild. Dreht man das Turmalinplättchen um 90°, so erscheint dieses Bild wieder, und es verschwindet das höhere. Es sind demnach die Strahlen, welche das höhere Bild geben, parallel mit der Kante des Prisma's, folglich parallel mit der Axe des Bergkrystalles, d. h. im Hauptschnitte, die Strahlen dagegen, denen das tiefere Bild gehört, senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirt. Hieraus ergibt sich die Folgerung, daß auch im Bergkrystalle die in einer gegen die Krystallaxe senkrechten Ebene gewöhnlich gebrochenen Strahlen im Hauptschnitte, die ungewöhnlichen senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirt sind. Ist aber das Bergkrystallprisma nach einer andern, vom Parallelismus mit der Krystallaxe bedeutend abweichenden Richtung geschnitten, so findet man keinen der beiden Strahlen polarisirt, während bei einem Prisma aus Doppelspath und vielen andern doppelt brechenden Substanzen beide Strahlen stets vollkommen polarisirt erscheinen. Dieß gibt zu erkennen, daß die Fortpflanzung des Lichtes im Bergkrystalle mittelst Schwingungen erfolge, die von den in andern doppelt brechen-

den Körpern Statt findenden verschieden sind. Nach dem Gesagten läßt sich auch sehr leicht erkennen, ob eine doppelt brechende Substanz, aus der man ein Prisma geschliffen hat, auf das Licht attractiv oder repulsiv wirke.

In Fällen, wo die Färbung der Turmaline die Reinheit der Erscheinungen stört, bedient man sich mit Vortheil der Nicol'schen Parallelepipede oder Prismen. Ein solches Prisma kommt an Gestalt einem durch Spaltung erhaltenen länglichen Doppelspathparallelepiped oder Rhomboid ziemlich nahe. Man erhält es, wenn man die spitzigen Kantenwinkel eines kleinen Doppelspathrhomboides zu 68° zuschleift, die neuen Flächen polirt, das Rhomboid dann in zwei gleiche Theile theilt, durch einen Schnitt, der durch die spitzigen Kantenwinkel und die stumpfen Körperwinkel geht, und endlich die Schnittflächen durch Canadabalsam oder Terpentin wieder vereinigt. Fällt nun ein Strahl darauf der Länge des Rhomboides parallel, so erleidet er in demselben die doppelte Brechung; der gewöhnlich gebrochene Strahl, auf den die Balsamschichte wie ein schwächer brechendes Mittel wirkt, erleidet an derselben, der Schiefe der Incidenz wegen, die totale Reflexion, und wird seitwärts abgelenkt, während der andere Strahl, rücksichtlich dessen die Balsamschichte als ein stärker brechendes Mittel zu betrachten ist, dieselbe durchdringt. Der Parallelismus der Ein- und Austrittsfläche bewirkt die Achromatisirung des durchgelassenen Lichtes.

Ein Turmalinplättchen, oder besser wegen der größeren Durchsichtigkeit und Farblosigkeit, ein Nicol'sches Prisma, kann bei manchen Untersuchungen mit großem Vortheile gebraucht werden, um einen Theil des ins Auge eindringenden Lichtes wegzuschaffen. Eine interessante Anwendung hievon auf das deutlichere Sehen von Gegenständen, die sich unter Wasser befinden, hat Arago angegeben. Es überwiegt nämlich das von der Oberfläche des Wassers durch Spiegelung in das Auge kommende Licht, seiner großen Intensität wegen, den Eindruck, den das aus dem Wasser spärlich heraustretende hervorzubringen vermag, dergestalt, daß letzterer gänzlich verwischt wird. Aber das von oben auf die Wasserfläche fallende Licht wird an selber, wenn der Neigungswinkel seiner Richtung gegen diese Fläche nahe 37° beträgt, durch Reflexion polarisirt. Sieht man daher nach dieser Richtung mit freiem Auge oder mittelst eines Fernrohres gegen das Wasser, und läßt man das dem Auge zugesendete Licht vorher durch ein schicklich angebrachtes Turmalinplättchen oder Nicol'sches Prisma gehen, so wird alles von der Wasserfläche reflectirte Licht ausgeschlossen, und man erhält lediglich die aus dem Wasser hervorkommenden Strahlen. Welchen Nutzen dieß den Schiffern gewähren kann, ist für sich klar.

300. Die in diesem Kapitel angestellten theoretischen Betrachtungen über Polarisation ruhen vornehmlich auf der Voraussetzung, daß die Schwingungen der Aethertheilchen bei der Lichtfortpflanzung senkrecht gegen die Strahlen, d. h. transversal vor sich gehen. Eine von Fresnel und Arago im Jahre 1816 vorgenommene Untersuchung der Interferenz des polarisirten Lichtes lieferte einen directen Beweis der Richtigkeit dieser Voraussetzung. Wie nämlich diese Physiker fanden, geht die Interferenz zweier Bündel geradlinig polarisirten Lichtes, wenn die Polarisationsrichtungen derselben parallel sind, genau so vor sich, wie sie unter den nämlichen Umständen mit gewöhnlichem Lichte Statt findet; sobald aber die Polarisationsrichtungen einen schiefen

Winkel machen, geht die Schwächung der Lichtintensität nicht mehr bis zur Vernichtung des Lichtes, und beträgt um so weniger, je größer der Winkel der Polarisationsrichtungen ist, weßwegen das Interferenzphänomen selbst in entsprechendem Grade an Deutlichkeit verliert; stehen endlich die Polarisationsrichtungen auf einander senkrecht, so fällt jede Schwächung des Lichtes und mithin auch die Wahrnehmbarkeit des Interferenzphänomens hinweg. Diese Thatsache läßt sich nur aus der Annahme transversaler Lichtschwingungen erklären, so wie diese allein eine Verschiedenheit der Lichtstrahlen nach verschiedenen Seiten betrachtet möglich machen, während bei longitudinalen Vibrationen alle Beziehungen dieser Art wegfallen.

Versuche zum Beweise oben erwähnter wichtigen Thatsache macht man am besten mit zwei gleichen parallelen Spalten, die man vor das Objectiv eines Fernrohres bringt, und vor welchen sich zum Behufe der Polarisirung der durch dieselben hindurchgehenden Lichtbündel entweder zwei gleiche Turmalinplättchen, oder zwei gleich dicke Säulen aus Glas oder Glimmertafeln befinden, deren Lage die relative Stellung der Polarisationsebenen der durch diese Spalten gehenden Lichtbündel bestimmt. Setzt man vor die beiden Spaltöffnungen zwei gleich dicke, der Krystallaxe parallel geschnittene Bergkrystallplatten, so sieht man, je nachdem die Axen parallel oder gegen einander geneigt oder auf einander senkrecht stehen, das gewöhnliche Interferenzphänomen, oder dieses in geringerer Intensität und zu beiden Seiten desselben ebenfalls Interferenzspectra, oder nur letztere allein. Nennen wir nämlich die in beiden Spalten durch gewöhnliche Brechung des Lichtes sich ergebenden Strahlen O und O′, die durch ungewöhnliche Brechung entstehenden E und E′; so interferiren sich im ersten Falle bloß O und O′, ferner E und E′, und die Spectra coincidiren; im zweiten kommen noch die Interferenzen von O mit E′ und von O′ mit E hinzu; im dritten interferiren sich bloß die letzteren zwei Strahlensysteme. Die Ausschließung der Interferenz von O mit E′ und von O′ mit E im ersten Falle, und der Interferenz von O mit O′ und von E mit E′ im dritten lehrt, das rechtwinkelig zu einander polarisirte Strahlen durch Interferenz keine Modification der Intensität des Lichtes erzeugen.

301. Wird ein polarisirter Strahl an der Grenzfläche eines einfach brechenden Mittels zurückgeworfen, so hängt die Lage der Polarisationsebene des reflectirten Strahles, wie aus der in 297 angegebenen Formel erhellet, nicht bloß von der Stellung der Polarisationsebene des einfallenden gegen die Einfallsebene und vom Einfallswinkel, sondern überdieß noch von der Beschaffenheit der an einander grenzenden Medien ab, denn es kommt in dieser Formel auch der zu dem vorhandenen Einfallswinkel gehörende Brechungswinkel vor. Deßhalb aber gibt dieselbe über den Zustand des reflectirten Strahles im Falle der totalen Reflexion, wo der Brechungswinkel imaginär erscheint, keinen Aufschluß. Indem Fresnel die Modification des polarisirten Lichtes in genanntem Falle zum Gegenstande seiner Untersuchungen machte, wurde er zu einer seiner schönsten und wichtigsten Entdeckungen geführt, die wir jetzt aus einander setzen wollen. Läßt man einen polarisirten Lichtstrahl AB in ein dreiseitiges, mit gleichen

Winkeln bei E und F versehenes Glasprisma DEF, Fig. 321, senkrecht gegen die Fläche DF eintreten, wodurch er hinsichtlich seines Polarisationszustandes ungeändert an der Fläche EF ankommt, und hat man den Winkel D dergestalt gewählt, daß der Strahl in B total reflectirt wird; so findet man den zurückgeworfenen Strahl BO (der wegen des senkrechten Austrittes an der Fläche DE keine weitere Veränderung erleidet) wie vor dem Eintritte in das Prisma polarisirt, wenn die ursprüngliche Polarisationsebene mit der Einfallsebene parallel, oder auf ihr senkrecht ist; dagegen gänzlich verändert, und scheinbar in einen sogenannten unvollkommen polarisirten Strahl (126) verwandelt, wenn die ursprüngliche Polarisationsebene eine schiefe Stellung gegen die Einfallsebene hat. Der reflectirte Strahl gibt nämlich in letzterem Falle, mittelst eines Doppelspathes, bei jeder Lage des Hauptschnittes zwei Bilder, deren Intensität mit der Stellung des Hauptschnittes wechselt, ohne jedoch sich auf Null zu reduciren. Er ist demungeachtet von einem unvollkommen polarisirten Strahle wesentlich verschieden. Um die Veränderung, welche die totale Reflexion einem polarisirten Lichtstrahle beibringt, in ihrem ganzen Umfange kennen zu lernen, ist es am zweckmäßigsten, statt des dreiseitigen Prisma's ein Parallelepiped von der Form DEFG, Fig. 322, anzuwenden, dessen spitze Winkel D und F für Glas mit dem Brechungsexponenten 1,5 entweder 48° oder 54° betragen, und dessen Länge gestattet, daß ein durch die Fläche DG senkrecht eindringender Lichtstrahl AB nach zwei Reflexionen bei B und C, die hier nothwendig totale sind, durch die Fläche EF austrete, was gleichfalls unter einem rechten Winkel geschieht. Läßt man einen durch Reflexion an einer Glasplatte, oder an einem geschwärzten Spiegel polarisirten Lichtstrahl senkrecht auf die Fläche DG eines solchen Fresnel'schen Parallelepipeds fallen, und untersucht man den durch die Fläche EF austretenden Lichtstrahl hinsichtlich seines Polarisationszustandes mittelst eines achromatischen Doppelspathprismas, so findet man ihn, wenn die Reflexionsebene DEFG des Parallelepipeds der Reflexionsebene der Glasplatte oder des schwarzen Spiegels parallel steht, wie vor dem Eintritte in das Parallelepiped, nämlich in dieser Reflexionsebene polarisirt. Dreht man nun das Parallelepiped ein wenig um eine auf die Ein- und Austrittsfläche des Lichtes senkrechte Axe, so ist der Zustand der vollkommenen Polarisation des Lichtes gestört; man bringt es, bei Anwendung des Doppelspathprisma's nicht mehr zur früheren Dunkelheit eines der beiden Bilder; das ungewöhnliche Bild, dessen Intensität im vorigen Falle auf Null reducirt wurde, wenn die Hauptschnittsebene des Doppelspathes mit der Reflexionsebene der Glasplatte oder des schwarzen Spiegels zusammenfiel, erlangt jetzt seine geringste Intensität, wenn diese Hauptschnittsebene mit der Reflexionsebene des Parallelepipeds übereinstimmt. Dreht man das Parallelepiped wieder ein wenig, so zeigt sich eine ähnliche Erscheinung, nur ist das Bild im Minimum seiner Intensität noch weniger dunkel als früher. Hat man dem Parallelepiped eine solche Stellung gegeben, daß die

Reflexionsebene desselben mit jener der polarisirenden Spiegelfläche einen Winkel von 45° macht, so hört jede Aenderung der Lichtstärke der Bilder bei den verschiedenen Stellungen des Doppelspathes auf; der Strahl scheint jede Spur von Polarisation verloren zu haben, d. i. in den Zustand des gemeinen Lichtes zurückgekehrt zu seyn. Bei weiterem Drehen des Parallelepipeds erscheinen wieder Intensitätsänderungen der beiden Bilder, nur ist jetzt das gewöhnliche Bild jenes, dessen Intensität am geringsten ausfällt, wenn der Hauptschnitt des Doppelspathes mit der Reflexionsebene des Parallelepipeds parallel steht. Ist endlich diese Ebene um 90° aus ihrer anfänglichen Position gedreht worden, so besitzt der aus dem Parallelepiped kommende Strahl wieder vollkommene Polarisation, und seine Polarisationsrichtung ist dieselbe, wie vor dem Eintritte in das Parallelepiped. Daß der bei diesen verschiedenen Stellungen des Parallelepipeds sich ergebende Strahl von einem gemeinen, mehr oder minder unvollkommen polarisirten, wesentlich verschieden sey, zeigt sich sogleich, wenn man ihn in einem zweiten, dem ersteren gleichen Parallelepiped abermals zwei totale Reflexionen erleiden läßt, wobei er sich ganz anders verhält, wie gemeines theilweise polarisirtes Licht.

Stellt man nämlich die Reflexionsebenen beider Parallelepipede einander parallel, so erhält man den aus dem ersten heraustretenden Strahl nach der Einwirkung des zweiten wieder in polarisirtem Zustande, nur zeigt sich seine Polarisationsebene von der anfänglichen um das Doppelte des Winkels abgelenkt, den die gemeinschaftliche Reflexionsebene der Parallelepipede mit jener des Polarisationsspiegels macht. Stellt man aber die Reflexionsebene des zweiten Parallelepipeds gegen die des ersten senkrecht, so erlangt der Strahl, welche Stellung sonst die Parallelepipede haben mögen, seine ursprüngliche Polarisationsrichtung zurück. Was insbesondere den Fall betrifft, wenn das erste Parallelepiped gegen die Reflexionsebene des Spiegels um 45° verschoben ist, so verwandelt sich das dadurch scheinbar entpolarisirte Licht bei jeder Stellung des zweiten Parallelepipeds in vollkommen polarisirtes Licht, und seine Polarisationsebene macht stets mit der Reflexionsebene des letztern Parallelepipeds einen Winkel von 45°, ein Verhalten, das von dem des gemeinen unpolarisirten Lichtes gänzlich abweicht.

302. Geleitet durch die Undulationstheorie hat Fresnel die Natur der Veränderung, welche das polarisirte Licht bei der totalen Reflexion erfährt, auf das Entschiedenste erkannt; ja nur durch die Theorie war es möglich, die Gestalt des Glasparallelepipedes auszumitteln, und die Umstände anzugeben, unter welchen eine zweimalige totale Reflexion eines polarisirten Lichtstrahles denselben gänzlich entpolarisirt, ohne ihn doch in gemeines Licht umzuwandeln. Die Lücken, welche Fresnel noch übrig ließ, indem er manchmal eine höchst sinnreich ausgedachte Vermuthung an die Stelle einer strengen Demonstration setzte, wurden von Cauchy vollkommen ergänzt, so daß die Theorie dieser Classe optischer Erscheinungen als vollendet betrachtet werden darf. Aus dieser Theorie geht hervor, daß wenn zwei Lichtstrahlen wovon einer in der Einfallsebene, der andere senkrecht gegen diese Ebene polarisirt ist, zugleich eine totale Reflexion erleiden, in der re-

lativen Anordnung der Phasen, die durch diese Strahlen fortgepflanzt werden, eine Aenderung vor sich geht, so daß nach der Reflexion die Phase des ersteren im Vergleiche mit der Phase des anderen Strahles um eine gewisse, durch Rechnung bestimmbare Differenz verzögert erscheint. Diese Verzögerung beträgt im Glase vom Brechungsindex 1,5, bei dem Einfallswinkel von 48° oder auch von 54° gerade 1/8 einer Schwingung, mithin nach zwei solchen Reflexionen 1/4 einer Schwingung. Durch eine einzige totale Reflexion im Glase kann der Phasenunterschied nicht so groß gemacht werden. Was hier überhaupt von zwei polarisirten Strahlen gesagt wurde, gilt insbesondere von den zwei parallel und senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirten Componenten, in die ein polarisirter Strahl, dessen Polarisationsebene mit der Reflexionsebene des Fresnel'schen Parallelepipedes einen schiefen Winkel macht, zerlegt werden kann; ist dieser Winkel die Hälfte eines Rechten, so besitzen die zwei Componenten gleiche Intensitäten, und da sie durch die zwei totalen Reflexionen eine Phasendifferenz von einem Viertel einer Undulation erhalten, so setzen sich dieselben bei dem Austritte aus dem Parallelepipede zu einem Strahle zusammen, in welchem die Aethertheilchen [s. I. 359. 2)] in kreisförmigen Bahnen schwingen. Ein solcher Strahl wird ein circular polarisirter genannt, zum Unterschiede vom bisher betrachteten Polarisationszustande des Lichtes, welcher die geradlinige Polarisation heißt. Macht die Polarisationsebene eines Lichtstrahles mit der Reflexionsebene des Fresnel'schen Parallelepipeds einen anderen schiefen Winkel als 45°, so erhalten die Componenten dieses Strahles ungleiche Intensitäten, und die Schwingungen der Aethertheilchen in dem aus dem Parallelepipede kommenden Strahle erfolgen nicht in kreisförmigen, sondern in elliptischen Bahnen, es entsteht also ein sogenannter elliptisch polarisirter Strahl. Nach dieser Theorie ist nun leicht vorauszusehen, was mit einem polarisirten Strahle geschehen muß, wenn er nach einander durch zwei in gegebenen Stellungen befindliche Fresnel'sche Parallelepipede gesendet wird.

Es sey A (Fig. 323) ein Punct in der Richtung des einfallenden geradlinig polarisirten Lichtstrahles, AP der Durchschnitt der Polarisationsebene desselben mit einer auf die Richtung des Strahles senkrechten Ebene (der Ebene der Zeichnung), AF die Reflexionsebene eines Fresnel'schen Parallelepipedes. Stellt AB die Amplitude der Schwingungen im Lichtstrahle vor, welche senkrecht gegen AP erfolgen, und zerlegt man AB in AD und AE, so wird AD gegen AE um 1/4 einer Schwingung verzögert. Tritt der Strahl in ein zweites Parallelepiped dessen Reflexionsebene die Lage der vorigen hat, so steigt die Verzögerung von AD auf eine halbe Undulation, und es ist zur Bestimmung der Schwingungsrichtung für den austretenden Strahl die Componente AD mit der gerade entgegengesetzten AD′ zu vertauschen; sonach erscheint jetzt AB′ als Schwingungsrichtung und AP′ als Polarisationsrichtung dieses Strahles. Wie man leicht sieht, ist der Winkel P′AF gleich PAF, also P′AP = 2 FAP. Wäre aber die Reflexionsebene des zweiten Parallelepipeds auf jene des ersteren senkrecht, so würde auch AE um 1/4 Schwingung verzögert; die Stellung der Pha-

sen der beiden Componenten bleibt in solchem Falle ungeändert, und es erhält sonach der Strahl seine ursprüngliche Polarisation zurück.

303. Die Aethertheilchen, durch deren Schwingungen circular oder elliptisch polarisirtes Licht fortgepflanzt wird, können ihre auf der Richtung des Strahles senkrechten Bahnen in zweierlei entgegengesetztem Sinne durchlaufen. Hierauf beruht der Unterschied zwischen rechts und links circular oder elliptisch polarisirtem Lichte. Nachstehende Erörterung wird die mit diesen Benennungen zu verbindenden Begriffe festsetzen. Man denke sich einen nach horizontaler Richtung in das Auge eindringenden Lichtstrahl als Axe der von den Aethertheilchen zu beschreibenden, z. B. kreisförmigen Bahnen, und nehme an, diese Theilchen durchlaufen die obere Bahnhälfte von der Linken gegen die Rechte, folglich die untere von der Rechten gegen die Linke. Da die schwingenden Theilchen von der Welle, die sie fortpflanzen helfen, um so eher erreicht werden, je weiter sie vom Auge abstehen, mithin die entfernteren in einem bestimmten Augenblicke, im Vergleiche mit den näheren, sich in früheren Phasen befinden, so ist klar, daß eine, in irgend einem Momente durch alle schwingenden Theilchen gelegte Linie auf der Oberfläche des Cylinders, den alle Bahnen zusammengenommen geben, eine Schraubenlinie darstellt, und zwar in dem vorliegenden Falle eine rechtsgewundene, die auch rechtsgewunden bleibt, wenn man den Strahl von einem andern Standpuncte betrachtet, z. B. nach der gerade entgegengesetzten Richtung, so daß die andere Seite der Bahnen dem Auge zugekehrt ist, daher die Bewegung der Theilchen in der oberen Bahnhälfte von der Rechten gegen die Linke gerichtet erscheint. Das Rechtsgewundenseyn dieser Schraubenlinie bestimmt den Charakter des rechts polarisirten Strahles. Indem derselbe in das Auge eindringt, bewegt sich diese Schraubenlinie so wie eine gewöhnliche rechte Schraube, die man einschraubt. Bei entgegengesetzter Bewegung der Aethertheilchen in ihren Bahnen, ist die Verbindungslinie ihrer gleichzeitigen Orte eine linksgewundene Schraubenlinie und der Strahl ist ein links polarisirter. Da bei der totalen Reflexion ein in der Einfallsebene polarisirter Strahl rücksichtlich eines senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirten, der Phase nach verzögert wird, so ist nicht schwer einzusehen daß ein Fresnel'sches Parallelepiped, durch welches ein ursprünglich geradlinig polarisirter Strahl zu dem Auge geht, diesen in einen rechts oder links polarisirten verwandelt, je nachdem die Reflexionsebene des Parallelepipeds von der Polarisationsebene des Strahles, vom Scheitel des spitzen Winkels beider angesehen, nach der Linken oder nach der Rechten abweicht.

304. Das geradlinig polarisirte Licht wird, wie Brewster entdeckt hat, durch Reflexion von einer polirten Metallfläche in den Zustand der elliptischen Polarisation versetzt. Fällt z. B. ein geradlinig polarisirter Strahl auf eine polirte Stahlplatte unter einem Winkel von 75° in einer Ebene, die um 45° gegen die Polarisationsebene geneigt ist; so erscheint der reflectirte Strahl nicht mehr geradlinig po-

larisirt, denn er gibt bei der Analyse mit einem Doppelspathe stets zwei Bilder, er ist auch kein natürlicher und kein unvollkommen polarisirter Strahl, denn er erscheint nach einer abermaligen Reflexion an einer zweiten Stahlplatte unter 75°, bei dem Winkel von 45° zwischen der Reflexionsebene und der ursprünglichen Polarisationsebene, geradlinig polarisirt, und die neue Polarisationsebene macht mit der früheren einen Winkel von 17°. Die Natur dieses Strahles gibt sein Verhalten nach zwei totalen Reflexionen in Fresnel's Parallelepiped deutlich zu erkennen, so wie umgekehrt ein aus diesem Parallelepiped heraustretender ursprünglich geradlinig polarisirter Strahl sich bei Reflexionen an Metallflächen wie ein durch Metallflächen selbst modificirter Strahl verhält. Auch ein circular polarisirter Strahl wird nicht bloß durch fernere totale Reflexionen in Glas, sondern gleichfalls durch eine oder mehrere Reflexionen von Metallflächen auf den geradlinigen Polarisationszustand zurückgeführt, wenn die Einfallswinkel bei diesen Metallflächen kleiner sind als der Winkel der vollkommen elliptischen Polarisation, und alle Reflexionsebenen einander parallel sind. Es werden daher in der That Reflexionen von Glas durch Reflexionen von Metall vertreten. Die Theorie gibt von allen diesen Phänomenen, welche in einer Aenderung des Verhältnisses der Phasen der Componenten des ursprünglichen Strahles durch die Reflexion an den Metallflächen ihren Grund haben, genaue Rechenschaft, und verhilft zur vollständigen Uebersicht der Gesetze, an welche diese Erscheinungen gebunden sind. Neumann hat hier die Bahn gebrochen, Cauchy die vollständige analytische Entwicklung gegeben. (S. Pogg. Ann. 26. 89; 39. 40.)

305. Geradlinig polarisirtes Licht, welches auf eine Platte aus einer das Licht doppelt brechenden Substanz fällt, tritt aus derselben nach Maßgabe der Dicke der Platte und der Incidenz des Strahles, elliptisch, oder circular, oder geradlinig polarisirt heraus. Es sey nämlich ABCD, Fig. 324, der Durchschnitt einer solchen Platte, EF ein darauf fallender geradlinig polarisirter Lichtstrahl, der bei seinem Eintritte in dieselbe in zwei senkrecht gegen einander polarisirte Strahlen FG und FH gespalten werde, welche letzteren an der Fläche DC bei G und H der Richtung des einfallenden Strahles parallel nach Gx und Hy austreten. Trifft nebst EF ein Bündel Strahlen von derselben Richtung die Platte, so ist ein zweiter Strahl E'F' vorhanden, der bei dem Eintritte in F'G' und F'G zerfällt, so daß der Strahl F'G zugleich mit FG nach der Richtung Gx die Platte verläßt. Da die zwei Strahlen; welche den Strahl Gx zusammensetzen, sich im Allgemeinen wegen der Schiefe der Incidenz auf AB und wegen der ungleichen und mit verschiedenen Geschwindigkeiten zurückgelegten Wege in verschiedenen Schwingungsphasen und in entgegengesetztem Polarisationszustande mit einander vereinigen, so geht aus ihrer Interferenz eine elliptische Schwingung hervor, die in besonderen Fällen circular, auch geradlinig ausfallen kann. Hierauf läßt sich eine Methode gründen, sich circular polarisirtes Licht zu verschaffen. Glimmer, den man

leicht in Platten von schicklicher Dicke spalten kann, eignet sich besonders gut hiezu. Auch gekühltes oder gepreßtes Glas läßt sich, wie Dove gezeigt hat, dazu verwenden.

306. Leitet man weißes polarisirtes Licht durch ein nicht zu dickes Plättchen aus einer das Licht doppelt brechenden Substanz, als: Kalkspath, Quarz, Gips, Glimmer u. dgl. und hierauf auf einen Körper, der zwei entgegengesetzt polarisirte Componenten des Lichtes von einander zu sondern vermag, z. B. ein Doppelspathprisma, ein System paralleler Glastafeln, einen geschwärzten Spiegel, eine Turmalinplatte, ein Nicol'sches Prisma u. dgl., so zeigt sich das Krystallplättchen bei schicklicher Lage gefärbt. Die Farbe, welche man da wahrnimmt, richtet sich nach der Natur und Dicke des Plättchens. Ueber eine gewisse Dicke hinaus findet aber keine Färbung desselben Statt. Neigt man das Plättchen gegen das einfallende Licht, damit dieses schief durch das Plättchen gehe, so ändert sich die Farbe, als wäre das Plättchen dicker geworden. Dreht man das Plättchen um das einfallende Licht, so ändert sich nicht die Beschaffenheit, wohl aber die Intensität der Farbe, und es gibt vier Lagen des Plättchens, wo die Farben am intensivsten, und vier andere, wo sie am schwächsten (= 0) sind. Ersteres da, wo der Hauptschnitt des Plättchens mit der ursprünglichen Polarisationsebene 45° macht, letzteres, wo dieser Winkel 0 oder 90° ist. Bedient man sich zur Betrachtung des Plättchens eines Systems paralleler Glastafeln, so ist die Farbe des Plättchens im durchgelassenen Lichte stets die complementäre zu der im reflectirten, oder es geht die Farbe des Plättchens in die complementäre über, wenn man die Glastafeln, ohne den Einfallswinkel des Lichtes zu ändern, um 90° dreht. Wendet man statt der Gläser einen Doppelspath an, so sieht man zwei farbige Bilder auf einmal, und ihre Farben, die ebenfalls bei Drehung des Hauptschnittes in die complementären übergehen, ergänzen sich da, wo sie sich decken, fortwährend zu Weiß.

Die Beständigkeit der Farbe eines Glimmerplättchens von bestimmter Dicke im polarisirten Lichte, und die mit der Neigung desselben gegen den einfallenden Strahl durch alle Zwischenstufen erfolgende Farbenänderung geben ein gutes Mittel zur Construction eines Farbenmessers. — In die Reihe dieser Farbenerscheinungen gehören auch diejenigen, welche Krystalle im polarisirten Lichte darbieten, die, von zwei Seiten angesehen, auch zwei verschiedene Farben zeigen, wie z. B. Beryll. Schneidet man von der bläulich grünen Varietat dieses Minerals ein dreiseitiges Prisma, damit die durch doppelte Brechung entstandenen Strahlenbüschel hinreichend von einander getrennt erscheinen, und läßt weißes polarisirtes Licht darauf fallen; so gehen bloß blaue Strahlen durch, wenn die Are des Krystalls auf der Polarisationsebene des einfallenden Lichtes senkrecht steht, hingegen grünlich weiße, wenn die Are mit dieser Ebene parallel ist. Dreht man das Prisma allmälig von der ersten Lage in die zweite, so geht auch das durchgelassene Licht successiv von Blau in Grünlichweiß über. Ein ähnliches Verhalten bemerkte Brewster, dem wir die Kenntniß dieser Erscheinung überhaupt verdanken, am Zirkon, Saphyr, Smaragd, Amethyst, Turmalin 2c.

307. Alle Erscheinungen dieser Art erklären sich einfach daraus, daß der zur Analyse des aus dem Krystallplättchen austretenden Strahles angewandte Apparat jeden der beiden entgegengesetzt polarisirten Bestandtheile dieses Strahles (305) in zwei Componenten zerlegt, wovon die eine in Schwingungen in der Hauptschnitts- oder Reflexionsebene des analysirenden Apparates, die andere in Schwingungen senkrecht gegen diese Ebene beruht. Hiedurch kommt nach jeder dieser Richtungen eine Componente des einen Strahles mit einer Componente des andern zur Interferenz, woraus für jedes Paar ein Strahl resultirt, dessen Intensität nebst dem, daß sie von dem ursprünglichen Einfallswinkel, von der Dicke des Plättchens, von der Lage der Polarisationsebene des einfallenden Strahles und der Hauptebene des analysirenden Apparates gegen den Hauptschnitt des Plättchens abhängt, für jede Wellenlänge eine andere ist, wodurch das Mischungsverhältniß der Bestandtheile des weißen Lichtes abgeändert wird, so daß eine bestimmte Farbe zum Vorschein kommt. Es ist leicht zu zeigen, daß die zwei durch den analysirenden Apparat gesonderten Effecte, wie auch jene bei der Drehung seiner Hauptebene um 90°, sich zu einander complementär verhalten. In der That sind OA und OB (Fig. 325) die gleichzeitigen Schwingungsrichtungen und Amplituden der beiden aus dem Krystallplättchen austretenden entgegengesetzt polarisirten Strahlen von einer bestimmten Farbe, ferner xOx' und yOy' die Geraden, nach welchen die Schwingungen in Folge der Action des analysirenden Apparates sich zerlegen, so liefert OA die Amplituden OH und OK, OB die Amplitude OL und OM, mithin wird die Amplitude des Strahles, dessen Schwingungen in xOx' fallen $= OH - OL$, jene des andern $= OK + OM$, daher ergibt sich für die Summe der Intensitäten beider der Ausdruck $(OH - OL)^2 + (OK + OM)^2 = OH^2 + OK^2 + OL^2 + OM^2 - 2OH \,.\, OL + 2OK \,.\, OM$. Wegen $OH^2 + OK^2 = OA^2$, $OL^2 + OM^2 = OB^2$ und weil, wie die Aehnlichkeit der Dreiecke OAH, OBL zeigt, $OH:AH = BL:OL$, mithin $OH.OL = AH.BL = OK.OM$ ist, reducirt sich dieser Ausdruck auf $OA^2 + OB^2$. Es ergänzt sonach die Intensität des einen Strahles jene des andern zum vollen Werthe des aus dem Krystallplättchen austretenden Lichtes, woraus die Richtigkeit obiger Behauptung von selbst folgt.

Unpolarisirtes, durch ein Plättchen aus einer doppelt brechenden Substanz geleitetes Licht gibt nach der Analyse keine Farbenerscheinungen, weil die auf einerlei Polarisationsebene gebrachten Componenten der Strahlen in allen möglichen Combinationen von Phasen auftreten, in Folge der unendlich vielen, nach allen möglichen Richtungen polarisirten Strahlen, aus denen das unpolarisirte Licht bestehend gedacht werden kann, so daß jeder Effect mit seinem complementären zusammenfällt, und durchgehends nur gleichfarbiges Licht von einerlei Intensität erhalten wird.

308. Fällt auf ein Plättchen aus einer doppelt brechenden Materie polarisirtes Licht unter verschiedenen Winkeln, und leitet man dasselbe mittelst eines zweiten polarisirenden Apparates in das Auge, oder

bei gehöriger Stärke des Lichtes auf einen Schirm im verfinsterten Zimmer, so entspricht einer gewissen Folge von Incidenzen einerlei Färbung des Plättchens, und es zeigen sich regelmäßig angeordnete Systeme gleichfarbiger oder isochromatischer Linien. Am einfachsten stellt man diese Linien dar, wenn man das Krystallplättchen zwischen zwei der Axe parallel geschnittene Turmalinplättchen oder zwischen zwei Nicol'sche Prismen bringt, und hindurchsieht, oder wenn man die Zusammenstellung dieser Plättchen in den Brennpunct einer Sammellinse bringt, durch welche man mittelst eines Heliostats einen Bündel paralleler Sonnenstrahlen sendet, und die Erscheinung im verfinsterten Zimmer auf einem Schirme auffängt. Nimmt man ein Plättchen aus einem einaxigen Krystall, z. B. ein Doppelspathplättchen, senkrecht gegen die Krystallaxe geschnitten, so sieht man es, weil hier gleichen Neigungen gegen die Axe gleiche Interferenzphänomene entsprechen, mit farbigen concentrischen Ringen geziert, die durch ein Kreuz unterbrochen erscheinen. Dieses Kreuz ist rechtwinkelig und wenn die Axen der Turmalinplättchen senkrecht gegen einander stehen, schwarz (Fig. 326); wenn aber die Axen der Turmalinplättchen einander parallel sind, weiß (Fig. 327). Bedient man sich statt der Turmalinplättchen zweier geschwärzten Spiegel, so erscheint das schwarze Kreuz, wenn die Reflexionsebenen der Spiegel einander senkrecht schneiden, und das weiße, wenn sie mit einander übereinstimmen. Im durchgelassenen Lichte, wenn der analysirende Apparat ein System paralleler Glastafeln ist, zeigt sich bei jeder dieser Stellungen die complementäre Figur der durch Reflexion erhaltenen; ein Doppelspathprisma liefert beide Figuren zugleich. Aehnliche Ringe bemerkt man an senkrecht gegen die Axe geschnittenen Plättchen von Beryll, Turmalin u. dgl., nur erscheinen die Ringe bei verschiedenen, wenn auch gleich dicken Plättchen von verschiedener Größe, und das Kreuz ist bald mehr bald minder deutlich zu sehen; bei einigen Plättchen, wie z. B. bei denen von Apophyllit oder unterschwefelsaurem Kalke, weicht die Farbenfolge von der in den gewöhnlichen Fällen Statt findenden stark ab. Der Bergkrystall bildet unter den einaxigen Körpern eine Ausnahme, von der später die Rede seyn wird. Vollkommen homogene Plättchen kann man um ihre eigene Axe drehen, ohne daß dadurch eine Aenderung der Ringe oder des Kreuzes bemerklich würde, aber der kleinste Mangel an Homogeneität offenbart sich durch eine Verzerrung der Ringe oder durch eine Biegung der Arme des Kreuzes. Bei demselben Plättchen erscheint ein Ring desto größer, je dünner die Platte ist, und zwar wachsen die Ringdurchmesser verkehrt wie die Quadratwurzeln der Plättchendicke. Nicht genau senkrecht gegen die Axe der doppelten Brechung geschnittene Plättchen zeigen ovale Ringe. An Plättchen aus zweiaxigen Krystallen erscheint das Phänomen dieser Farbenringe ganz verschieden. Ist ein solches Plättchen senkrecht auf die Linie geschnitten, welche den Winkel beider Axen halbirt und in ihrer Ebene liegt, so sieht man die Ringe, wie Fig. 328, falls die beiden Axen, wie z. B. bei dem Salpeter, einen kleinen Win-

kel einschließen, so daß man ihre Pole, die den Mittelpuncten der Ringe entsprechen, zugleich im Gesichtsfelde hat, und die ursprüngliche Polarisationsebene des Lichtes mit der Ebene der zwei Axen zusammenfällt. Dreht man das Plättchen um $22^1/_2{}^\circ$, so nehmen die Ringe die Gestalt, Fig. 329, bei einer Drehung von 45° die Gestalt Fig. 330 an, und dieselben Veränderungen erleiden sie bei jeder fernern Drehung von 45°. Bei Plättchen aus Krystallen, deren Axen einen gar großen Winkel einschließen, wie z. B. aus Arragonit, erscheint gar nur ein Phänomen, wie es Fig. 331 darstellt. Diese Erscheinungen ändern sich, wenn man statt des geradlinig polarisirten Lichtes circular oder elliptisch polarisirtes anwendet. Wird z. B. ein senkrecht gegen die Krystallaxe geschnittenes Plättchen aus Kalkspath polarisirtem Lichte ausgesetzt, das vorher durch ein Fresnel'sches Parallelepiped gegangen ist, dessen Reflexionsebene mit der Polarisationsebene des Lichtes einen Winkel von 45° macht, oder durch ein Glimmerplättchen von schicklicher Dicke und Stellung, so verschwindet das schwarze Kreuz, und die Ringe erscheinen, wie Fig. 332 zeigt, in vier Quadranten getheilt, die abwechselnd um eine halbe Ringbreite gegen den Mittelpunct vor- und zurückgeschoben sind. Durch Drehen des Untersuchungsapparates werden bloß die Theilungslinien der Quadranten gedreht, sonst aber an der Figur nichts geändert. Wendet man das Parallelepiped gegen die andere Seite der Polarisationsebene des einfallenden Lichtes, so daß es wieder mit dieser den Winkel von 45° macht, so verändert sich die Erscheinung bloß im Verhältnisse von Rechts zu Links. Plättchen aus zweiarigen Krystallen verhalten sich auf analoge Weise. Läßt man das circular polarisirt in ein Kalkspathplättchen, wie vorhin, einfallende Licht, ehe es zum Untersuchungsapparate kommt, noch einmal durch ein mit dem ersteren übereinstimmend gestelltes Fresnel'sches Parallelepiped geben, so erhält man bei den Hauptstellungen des Untersuchungsapparates wieder Kreise, jedoch ohne Kreuz und mit einem dunklen oder lichten Fleck im Mittelpuncte. In homogenem Lichte sieht man in allen diesen Fällen sehr zahlreiche Ringe von der Farbe des angewendeten Lichtes, die durch dunkle Zwischenräume unterbrochen sind. Die Durchmesser der Ringe sind für verschiedene Farben verschieden, und zwar nehmen sie von der rothen Farbe des Spectrums gegen die violette hin ab, ein Umstand, welcher lehrt, daß das Phänomen im weißen Lichte bloß das Resultat des gleichzeitigen Eintretens und der Uebereinanderlagerung der Erscheinungen ist, die den verschieden brechbaren Bestandtheilen des weißen Lichtes angehören. Diese Uebereinanderlagerung vermindert die Anzahl der Ringe, hebt sie sogar in manchen Fällen gänzlich auf, so daß man die isochromatischen Curven nur bei Anwendung homogenen Lichtes sieht. Solches verschafft man sich am leichtesten mittelst einer Weingeistlampe, deren Docht man mit Kochsalz bestreut.

Aus dem in 305 und 307 Gesagten wird man leicht entnehmen, warum die Farbenringe um so näher an einander gerückt erscheinen, je größer sie werden, denn bei schieferer Incidenz wird der Gangunterschied der

Strahlen größer, und variirt mit wachsender Schiefe rascher; warum eine Doppelspathplatte dieser Art ein schwarzes oder weißes Kreuz zeigt, je nachdem die Hauptebene des polarisirenden und analysirenden Apparates sich kreuzen oder zusammenfallen, und warum die Arme dieses Kreuzes nach diesen Hauptebenen gerichtet sind, denn Strahlen, die in dieser Hauptebene vom Polarisationsapparate zur Krystallplatte kommen, erleiden keine doppelte Brechung, womit auch die Interferenz von den sonst vorhandenen zwei Strahlentheilen wegfällt u. dgl. Ja selbst die Hauptformen der Erscheinungen im circularen oder elliptischen Lichte lassen sich ohne Rechnung voraussehen; allein zur vollständigen quantitativen Erörterung dieser Phänomene ist die mathematische Behandlung unerläßlich. Sie wurde für Platten einaxiger Krystalle senkrecht auf die Axe geschnitten, von Airy (S. Pogg. Ann. 23. 204) ausführlich gegeben. Nach anderen Richtungen geschnittene Platten behandelte Müller (a. a. O. 33. 282; 35. 95. 261). Ueber die Farbenerscheinungen an zweiaxigen Krystallen s. Neumann in Pogg. Ann. 33. 257.

309. Derlei Erscheinungen beobachtet man sehr bequem mit Hilfe des sogenannten Polarisationsinstrumentes. Unter den mannigfaltigen Einrichtungen, welche man demselben gegeben hat, dürfte die durch Fig. 333 vorgestellte, welche die Vortheile des Nörrenberg'schen und Airy'schen Polarisationsinstrumentes in sich vereinigt, die passendste seyn. Die Bestandtheile desselben, welche von dem aus zwei verticalen Säulen gebildeten Gestelle getragen und in verschiedenen Combinationen gebraucht werden, sind: Die polarisirende Glasplatte A; der horizontale Spiegel B; das Tischchen C für die zu untersuchenden Objecte; der Träger D für den Analysirungsapparat, der nach Umständen ein geschwärzter, unter 35° 25′ gegen die Verticallinie geneigten Spiegel, oder ein eben so gestelltes System paralleler Glastafeln, oder ein Turmalinplättchen, ein achromatisirtes Doppelspathprisma, ein Nicol'sches Prisma u. dgl. seyn kann; die Beleuchtungslinsen E und F, dann noch zwei Ocularlinsen (beide Sammelgläser), wovon eine über die Oeffnung des Trägers D und die zweite vor den oberen schwarzen Spiegel, falls derselbe angewendet wird, zu stehen kommt. Die polarisirende Platte A wird gegen die Verticalrichtung unter dem Winkel von 35° 25′ gestellt, und nimmt, je nachdem ihr oberer Theil einwärts oder auswärts gekehrt ist, das Tageslicht oder das Licht einer Lampe entweder mit ihrer oberen Fläche auf und reflectirt es nach oben, oder das Licht fällt auf die untere Fläche der Platte, wird von dieser dem horizontalen Spiegel B zugesendet, der es durch die Platte A hindurch aufwärts wirft. Sollte das Tageslicht nicht günstig einfallen, so kommt man noch mit einem vor das Instrument gestellten Beleuchtungsspiegel zu Hilfe. Setzt man auf D den schwarzen Spiegel oder einen andern der vorgenannten Analysirungsapparate, so kann man bei dem Drehen desselben um eine verticale Axe sogleich den Wechsel der Lichtintensität im Gesichtsfelde des Apparates beobachten. Zum Behufe der Grundversuche über die circuläre und elliptische Polarisation stellt man ein oder zwei Fresnel'sche Parallelepipede auf den Tisch C. Um die gleichmäßige Färbung der Krystallplättchen unter

dem Einflusse paralleler Strahlen wahrzunehmen, bringt man selbe auf den Tisch C, den man nach Wunsch neigen und in seiner eigenen Ebene drehen kann. Um die Farbenringe der Krystallplättchen zu sehen, legt man selbe entweder auf den Spiegel B und setzt die Linse E so über selbe, daß die Plättchen sich im Brennpuncte derselben befinden, und betrachtet selbe mit einem der Analysirungsapparate, oder man gibt eine Sammellinse in die Oeffnung des Trägers D, bringt den Tisch C in ihre Brennweite, legt das Krystallplättchen darauf, stellt die Linse F in die Brennweite darunter, und betrachtet das Phänomen mittelst einer vor den analysirenden Apparat, am besten vor den schwarzen Spiegel gehaltenen Sammellinse. Die Linse F macht die auf selbe fallenden parallelen Strahlen convergirend; diese gehen durch das Krystallplättchen, werden von der Linse in D parallel, und nach der Reflexion vom Spiegel durch die Ocularlinse wieder convergirend gemacht. Das Auge muß hiebei in dem Vereinigungspuncte der Strahlen stehen. Man kann auf diese Weise die Farbenringe mittelst der kleinsten Krystallplättchen sehen. Alle Gegenstände, welche auf den Spiegel B gelegt werden, wirken so, als ob sie mit ihrem Bilde vereinigt wären, d. h. doppelte Dicke hätten, und die Linse E vertritt die Stelle von zweien.

Das in die durchsichtige Platte A eindringende, nach der Brechung an deren Hinterfläche reflectirte Licht trifft diese in Folge des in 295 angegebenen Gesetzes gleichfalls unter dem Winkel der vollkommenen Polarisation und verstärkt daher die Wirkung. Der Polarisationswinkel ist aber nicht für alle einfache Strahlengattungen derselbe, daher auch im Zerlegungsapparate bei weißem Lichte kein vollkommen dunkles Gesichtsfeld möglich ist. Ein Ueberzug von Feuchtigkeit der polarisirenden Platte oder des oberen Spiegels, z. B. durch Anhauchen, ändert den Polarisationswinkel, mithin auch den Effect und das früher dunkle Gesichtsfeld wird heller.

310. Ein von den übrigen einaxigen Krystallen gänzlich abweichendes Verhalten im polarisirten Lichte zeigt der **Bergkrystall**. An einem senkrecht gegen die Axe geschnittenen Plättchen aus diesem Körper erscheint bei der oben beschriebenen Beobachtungsweise kein dunkles Kreuz, sondern höchstens Spuren davon an den äußern Farbenringen. In der Mitte aber bemerkt man einen farbigen Fleck, dessen Farbe bei der Drehung der Polarisationsebene des Untersuchungsapparates wechselt. Untersucht man die Erscheinung im gleichfarbigen Lichte, so ergibt sich eine eigenthümliche Einwirkung des Plättchens auf das parallel mit seiner optischen Axe, d. h. senkrecht auf seine Flächen hindurchgeleitete geradlinig polarisirte Licht. Es kommt nämlich dieses Licht wohl wieder im Zustande der geradlinigen Polarisation aus dem Plättchen, aber seine Polarisationsebene ist gegen die ursprüngliche um einen gewissen von der Dicke des Plättchens abhängenden Winkel gedreht, und es ist der Drehungswinkel bei gleicher Dicke für Strahlen von verschiedener Farbe ein anderer. Hieraus wird der Farbenwechsel bei Anwendung weißen Lichtes begreiflich. Höchst interessant ist der Umstand, daß bei Plättchen von gleicher Dicke die Dre-

hung der Polarisationsebene einer jeden Lichtsorte in verschiedenem Sinne erfolgen kann, nämlich Plättchen aus gewissen Bergkrystall-Individuen, je dicker man sie nimmt, um so mehr rechts drehend, aus anderen links drehend wirken, und daß schon der bloße Anblick der Krystallgestalt des Individuums, aus welchem das Plättchen genommen wird, an besonders gelagerten trapezförmigen Flächen, die sich häufig nächst den Combinationskanten des sechsseitigen Prisma's mit der Endpyramide vorfinden, und bald von rechts nach links, bald umgekehrt liegen, auf die Richtung der Drehung zu schließen gestattet. Legt man zwei Plättchen von gleicher Dicke, wovon eines rechts drehend, das andere links drehend auf die Polarisationsebene des Lichtes wirkt, über einander, so erblickt man im polarisirten Lichte die von Airy entdeckte, mit vier vom Mittelpuncte der Farbenringe auslaufenden Spiralen versehene Fig. 334. Bei dem oben beschriebenen Polarisationsinstrumente genügt es, eine Quarzplatte auf den von Nörrenberg eingeführten horizontalen Spiegel zu legen und die Sammellinse darüber zu halten; das Bild der Platte vertritt die Anwesenheit der zweiten entgegengesetzt drehenden von gleicher Dicke. Gewisse Quarzkrystalle liefern Plättchen, die zugleich rechts und links drehen. Eben so wie der Bergkrystall im Sinne seiner Axe, wirkt auch eine Säule von Terpentinöhl, Citronenöhl, eine Lösung von Zucker, Dextrin, jedoch ist der Drehungswinkel der Polarisationsebene verschieden nach Maßgabe der Natur der Substanz, ihrer Dicke, und der Brechbarkeit des Lichtes. So z. B. wird nach Biot die Polarisationsebene eines gewissen rothen Strahls (den mit Kupferoxyd gefärbtes Glas durchläßt) durch eine fünf Millimeter dicke Quarzplatte um 92°, durch eine eben so dicke Terpentinsäule um 14° 3, durch eine Citronenöhlschichte um 21° 8 gedreht. Terpentinöhl (im tropfbaren Zustande oder als Dampf), Lorbeeröhl, eine Lösung von Traubenzucker, der noch nicht fest war, drehen die Polarisationsebene zur Linken; Citronenöhl, eine Lösung von Traubenzucker, der schon fest war, Rohrzucker, Dextrin, Runkelrübensaft ɩc. von der Linken zur Rechten, so daß man diese Eigenschaft zur Prüfung der Substanzen auf Zucker benützen kann.

311. Die Drehung der Polarisationsebene eines durch ein senkrecht gegen die Axe geschnittenes Bergkrystallplättchen in paralleler Richtung mit der Axe gehenden Lichtstrahles (310) hat in der eigenthümlichen Beschaffenheit des Bergkrystalles ihren Grund, in Folge deren derselbe längs seiner Axe nur circulare Schwingungen fortzupflanzen vermag, und zwar rechts und links vor sich gehende Schwingungen mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortpflanzt. Ein geradlinig polarisirter Strahl kann aus zwei entgegengesetzt circular polarisirten Strahlen bestehend gedacht werden, da sich jede geradlinige Schwingung in zwei entgegengesetzte circulare zerlegen läßt. Tritt nun ein geradlinig polarisirter Strahl in ein Bergkrystallplättchen von der erwähnten Art, so stehen die beiden circularen Bestandtheile desselben bei dem Austreten in einer Phasendifferenz; indem sie sich wie-

der zu einer geradlinigen Schwingung zusammensetzen, wird die Richtung dieser eine andere seyn. Verschiedene Bergkrystall-Individuen unterscheiden sich dadurch, daß einige rechts circulares, andere links circulares Licht mit größerer Geschwindigkeit fortpflanzen. Hieraus erklärt sich die Drehung der Polarisationsebene im entgegengesetzten Sinne, die gleich dicke Platten aus verschiedenen Bergkrystall-Individuen bewerkstelligen. Die eigenthümliche drehende Wirkung gewisser tropfbar flüssiger Substanzen auf die Polarisationsrichtung des durch selbe geleiteten Lichtes muß eben so erklärt werden. Die verschiedene Geschwindigkeit des Lichtes längs der Axe des Bergkrystalles wurde übrigens von Fresnel, dem wir obige Erklärung verdanken, durch directe Versuche bekräftigt, indem es ihm gelang, die beiden entgegengesetzt polarisirten Strahlen mittelst eines aus rechts und links drehenden Prismen zusammengesetzten rechtwinkligen Parallelepipeds zu trennen, und ihren circularen Polarisationszustand nachzuweisen. (Pogg. Ann. 21. 276.)

312. So wie ungleichförmig erwärmtes, oder schnell gekühltes oder gepreßtes Glas das Vermögen erlangt das Licht doppelt zu brechen, eben so zeigt es im polarisirten Lichte Farbenerscheinungen, die auf der Interferenz der Componenten der durch doppelte Brechung entstandenen Strahlen beruhen. Da aber hier die brechende Kraft von Theilchen zu Theilchen eine andere ist, so wechselt hiemit die Färbung von Stelle zu Stelle selbst in einem Bündel paralleler Lichtstrahlen. Erscheinungen dieser Art wurden zuerst von Seebeck und Brewster entdeckt. Hält man eine Platte von dickem Spiegelglase, die im Polarisationsinstrumente keine Farben zeigt, an stark erhitztes Eisen, so bemerkt man, zumal wenn man die Platte über den horizontalen Spiegel des genannten Instrumentes bringt und mit einem der Analysirungsapparate untersucht, daß in derselben parallele Streifen (Fig. 335) entstehen, so wie sich die Wärme durch sie fortpflanzt. Die Farben dieser Streifen gehen alsogleich in die complementären über, wenn man den analysirenden Apparat um 90° dreht, oder sie bald im durchgelassenen, bald im reflectirten Lichte ansieht; sie verlieren sich aber ganz, wenn sich die Wärme bereits gleichförmig in der ganzen Platte verbreitet hat. Es ist in Betreff der Farben einerlei, ob man eine einzige dicke Platte oder mehrere dünne nimmt, die zusammen jener an Dicke gleichen. Bekommt eine Platte während des Erwärmens einen Riß, so erscheinen in jedem Stücke die Farben abgesondert wie in einem Ganzen; verbindet man wieder beide Theile durch Kitt, so ist es, als wäre nie ein Bruch erfolgt. Dieselben Erscheinungen ergeben sich, nur in Betreff der Farbenfolge in umgekehrter Ordnung, wenn man heißes Glas an kaltes Eisen anhält. Am leichtesten macht man diesen Versuch, wenn man sich einer metallenen Rahme bedient, in welche ein Glaswürfel genau paßt. Erhitzt man die Rahme und legt dann den Würfel hinein, so erscheint im Polarisationsinstrumente nach Maßgabe des Eindringens der Wärme in den Würfel eine farbige Zeichnung, wie Fig. 336 darstellt; an den Ecken zeigen sich Pfauenaugen,

die durch ein schwarzes, oder bei geänderter Stellung des analysirenden Apparates, wobei die complementäre Erscheinung auftritt, durch ein weißes Kreuz getrennt sind. Hat der Glaswürfel eine gleichförmige Temperatur angenommen, so ist die Erscheinung wieder verschwunden; legt man aber jetzt den heißen Würfel in eine kalte Metallrahme, so beginnt das Farbenspiel von Neuem. Dreht man die Rahme sammt dem Würfel, so ergeben sich andere sehr gefällige Formen der Zeichnung. Man kann diese Erscheinung sehr einfach hervorrufen, wenn man einen Glaswürfel, der im polarisirten Lichte keine Farben zeigt, mit einer Drahtlage umgibt, so daß bloß die obere und untere Fläche unbekleidet bleibt, und ihn sodann über einer Spiritusflamme erhitzt. Ein Glascylinder auf gleiche Weise behandelt, zeigt ein Kreuz mit concentrischen Farbenringen, ähnlich der Figur an einem senkrecht gegen die Axe geschnittenen Kalkspathplättchen. Man kann auch den Glaskörper mit einer Höhlung versehen und heißes Quecksilber hineingießen. Alle diese Farbenerscheinungen lassen sich bleibend machen, wenn man das stark erhitzte Glas rasch abkühlt, und dadurch die Anordnung der Theilchen, welche bei ungleicher Erwärmung Statt findet, fixirt. Mehrere schnell gekühlte, über einander gelegte quadratische Glasplatten vertreten einen massiven Würfel vollkommen. Endlich kann man dem Glase die hier betrachtete Eigenschaft noch durch äußeren Druck beibringen. Nimmt man einen Glaswürfel, der im polarisirten Lichte keine besondere Farbe zeigt, gibt ihn in eine kleine Presse, drückt ihn mäßig zusammen, und betrachtet ihn mittelst des Polarisationsinstrumentes, so zeigt sich eine Farbenerscheinung, die nach Beschaffenheit der Stärke des Druckes sich ändert. Sehr regelmäßig stellt sich die Zeichnung dar, wenn die Presse den Würfel bloß an zwei einander gegenüber liegenden Stellen drückt. Aehnliche Erscheinungen bringt man auch durch Dehnen des Glases zu Stande. Biegt man einen Glasstreifen, so sieht man ihn an der schmalen Seite im polarisirten Lichte mit parallelen Farbenstreifen, die in der Mitte durch eine schwarze Linie verbunden sind. Auch während man einen Glasstab zum Tönen bringt, wirkt er doppelt brechend auf das Licht, wie die Beobachtung mittelst des Polarisationsinstrumentes lehrt. Eine senkrecht auf die Axe geschnittene, an zwei gegenüber liegenden Puncten der Seitenfläche gepreßte Quarzplatte, zeigt im polarisirten Lichte das Ringsystem eines zweiaxigen Krystalles. Aehnliche Erscheinungen wie die vorgenannten, bemerkte Seebeck an schnell entstandenen Krystallen von Borax, Kochsalz, in Gummistücken und in thierischen Substanzen; ja selbst im Diamante, sonst einem einfach brechenden Körper, will sie Brewster gesehen haben.

313. Der innige Zusammenhang, welcher zwischen der Polarisation und doppelten Brechung Statt findet, läßt häufig von einer derselben auf die andere schließen, und da die doppelte Brechung mit dem Krystallisationszustande der Körper so genau zusammenhängt, so wird durch die Polarisation auch oft ein Schluß auf die Krystallform der Stoffe gerechtfertigt. Der kleinste Splitter eines doppelt brechenden

Körpers polarisirt das Licht vollkommen, und die Polarisationsrichtung gestattet einen Schluß auf die Lage des Hauptschnittes. Die Farbenringe, welche solche Körper im polarisirten Lichte zeigen, geben Anzeigen über die Anzahl und Lage der Axen, über ihre Aenderung durch Druck, Erwärmung ꝛc. Körper, deren doppelte Brechung bekannt ist, werden mit Vortheil zur Bestimmung des Polarisationszustandes des Lichtes gebraucht.

Will man erfahren, ob ein Körper das Licht doppelt breche oder nicht, so gebe man ihn zwischen zwei Turmalinplattchen, wie sie früher beschrieben worden sind, deren Axen aber sich rechtwinkelig durchkreuzen (oder auch zwischen zwei Nicol'sche Prismen, die eben so gelegt sind). Diese erscheinen undurchsichtig, so lange sich gar nichts oder ein das Licht einfach brechender Körper zwischen ihnen befindet. Wie aber eine doppelt brechende Substanz dazwischen kommt, so werden sie augenblicklich durchsichtig oder wenigstens durchscheinend. Will man untersuchen, ob ein Strahl polarisirt sey oder nicht, so leite man ihn durch einen Doppelspath. Kann man beim Drehen desselben eine Lage finden, wo nur ein Bild entsteht, so ist der Strahl polarisirt; ja selbst wenn man keine solche Lage ausfindig machen kann, und zwei Bilder entstehen, so läßt sich aus der Gleichheit oder Verschiedenheit ihrer Intensität erkennen, ob der Strahl gar nicht, oder nur zum Theile polarisirt sey. Man kann die zur Entstehung polarisirter Farbenringe nöthigen Bedingungen dazu benützen, zu erforschen, ob die von der Luft und von Wolken reflectirten oder von leuchtenden Körpern verschiedener Art ausgehenden Strahlen polarisirt seyen oder nicht. Hierauf gründen sich die sogenannten Polariskope, dergleichen Arago, Biot, Savart angegeben haben. Wird nämlich an ein Turmalinplättchen, das parallel mit der Axe des Krystalls geschnitten ist, ein senkrecht auf die Axe geschnittenes Bergkrystallplättchen oder ein solches Doppelspathplättchen befestigt, so darf man nur ersteres nahe vor das Auge halten, und sehen, ob Farbenringe bemerklich sind oder nicht. Finden diese Statt, so muß offenbar das einfallende Licht polarisirt seyn. Die von Savart zu diesem Behufe angewendeten, unter 45° gegen die Axe geschnittenen Bergkrystallplatten, mit gekreuzten Hauptschnitten über einander gelegt und mit einem Turmalinplättchen versehen, dessen Axe den Winkel der ersteren halbirt, lassen bei der geringsten Spur von polarisirtem Licht geradlinige Streifen wahrnehmen, deren Richtung, wenn das Ganze in der Ebene der Plättchen so gedreht wird, daß dieselben in größter Intensität und mit einem schwarzen Mittelstreifen erscheinen, mit der Polarisationsrichtung des Lichtes übereinstimmt. Bei circular polarisirtem Lichte bleibt das Aussehen dieser Streifen stets dasselbe, wenn man das Polariskop um eine auf der Ebene der Plättchen senkrechte Axe dreht. Ueberhaupt sind die Erscheinungen, welche Krystallplättchen, die durch senkrecht auf die optische Axe geführte Schnitte entstehen, im polarisirten Lichte gewähren, besonders geeignet, um die Lage der Axen der doppelten Brechung auszumitteln, und bei solchen, welche zwei derlei Axen haben, den Neigungswinkel derselben zu bestimmen; denn die Ringe erscheinen bei einaxigen Plättchen nur dann kreisförmig, wenn die Axe des Strahlenkegels mit der Brechungsaxe des Krystalls parallel ist, und in solchen Plättchen, deren Axen wenig gegen einander geneigt sind, und demnach gegenseitig ihre Farbenringe modificiren, zeigen die zwei Mittelpuncte der ovalen Ringe die Pole der Brechungsaxen an. Leitet man durch ein solches Plättchen homogenes Licht, so erscheinen offen-

bar nur die demselben entsprechenden Ringe und auch die ihm entsprechende Axe. Vergleicht man ihre Lage in verschiedenem homogenen Lichte, bei verschiedenen Temperaturgraden ic.; so erfährt man, daß in solchen Krystallen jedem farbigen Strahle eine besondere Axe der doppelten Brechung entspreche, daß die Axen in einigen merklich von einander abweichen, in anderen nahe zusammenfallen, daß nicht alle derselben in einer Ebene liegen, kurz alles das, was (282) von den Brechungsaxen gesagt wurde. Merkwürdig ist die Aenderung der Lage der Axen bei dem Weißbleierz durch Erwärmung, welche man gut wahrnimmt, wenn man eine Platte dieses Krystalls zwischen zwei Turmalinplatten in den Brennpunct einer Sammellinse, worauf man Sonnenlicht geleitet hat, bringt, und die Erscheinung auf einen weißen Schirm fallen läßt. Die rasche Aenderung in dem Farbenphänomen laßt ein Auseinanderweichen der Axen bei Erhöhung der Temperatur erkennen. Auch Anomalien in der Zusammensetzung krystallisirter Körper geben sich durch Verzerrung der Ringe zu erkennen. (Zeitschr. 1. 30; 7. 81. Pogg. Ann. 8. 520; 17. 1; 26. 302; 26 308; 27. 480; 27. 504. Schweigg. Journ. 49. 167; 69. 140.) Man hat sogar die feineren materiellen Unterschiede vieler Substanzen aus ihrer doppelt brechenden und polarisirenden Eigenschaft zuerst erkannt, wiewohl diese Unterschiede so gering waren, daß man sie bei chemischen Analysen gar leicht übersehen konnte. So hielt man längere Zeit hindurch alle Körper, die unter dem Namen Glimmer vorkommen, für ganz gleichartig, bis Biot aus ihrem optischen Verhalten erklärte, daß es Glimmer mit einer und mit zwei Brechungsaxen gebe, und daß mancher abstoßend, ein anderer anziehend wirke, und dadurch die Chemiker veranlaßte, diese Körper einer genaueren Untersuchung zu unterwerfen, wobei sich zeigte, daß ihrem besonderen optischen Verhalten auch eine besondere materielle Beschaffenheit entspreche.

Siebentes Kapitel.

Farben dünner Plättchen.

314. Seit Hook und Newton weiß man, daß jede sehr dünne Schichte, jedes feine Plättchen aus einer durchsichtigen Substanz, ja selbst der von sehr nahen Körperflächen begrenzte luftleere Raum eigenthümliche Farben zeigt, die mit der natürlichen Färbung größerer Massen der betreffenden Körper nichts gemein haben, da sie sich anders im reflectirten, als im durchgelassenen Lichte darstellen, und nicht bloß von der Natur der Plättchen abhängen, sondern mit der Dicke derselben und sogar mit dem Einfallswinkel des Lichtes sich ändern. Das bekannteste und auffallendste Beispiel dieser Classe von Erscheinungen bieten die Seifenblasen dar; ähnliche Farbenphänomene findet man an dünnem Glase, dünnen Glimmerplättchen, dünnen, auf Wasser schwimmenden Oehlschichten, überhaupt an jedem sehr dünnen Ueberzuge eines Körpers (Nobili's Figuren 153), an feinen Sprüngen im Innern der Körper, an Fischschuppen u. dgl. Schon Newton hatte die Gesetze dieser Phänomene mit musterhafter Genauigkeit erforscht; allein eine haltbare Erklärung derselben konnte erst nach ge-

höriger Begründung der Undulationstheorie gegeben werden, da sie die Gesetze der Interferenz und die genaue Kenntniß der Intensität des Lichtes durch Reflexion und Brechung, mithin die subtilsten Resultate der Lehre von der Polarisation in Anspruch nimmt. Diese Erklärung ist eine der schönsten Leistungen der neuesten physikalischen Optik; sie gelang erst nach wiederholten Angriffen, welche der Undulationstheorie die unwiderleglichsten Argumente gewonnen haben.

315. Um die Gesetze dieser Erscheinungen erforschen zu können, muß man vor allem versuchen, sie an Plättchen von einerlei Natur und verschiedener aber bekannter Dicke hervorzubringen. Dazu dient nun ganz vorzüglich Newton's Farbenglas, eine ebene Glasplatte, auf die man ein wohl centrirtes Converglas von großem Halbmesser legt. Letzteres berührt nämlich jene Platte an einer Stelle, und steht rings um diese Stelle in gleicher Entfernung gleich weit von ihr ab, und man kann diesen Abstand genau kennen lernen. Gibt man demnach in den Raum zwischen den zwei Gläsern irgend eine Flüssigkeit, z. B. atm. Luft, Wasser, Weingeist rc., so füllt sie denselben aus, und bildet daher gleichsam concentrische, an Dicke nach außen wachsende ringförmige Plättchen, ja selbst, wenn man daraus alles Materielle, so gut man kann, entfernt, so erhält man einen von sehr wenig von einander abstehenden Flächen begrenzten Raum. Das Farbenglas bietet nun Folgendes dar: Sieht man von oben darauf herab, so erblickt man, wenn beide Gläser einander gut berühren, in der Mitte einen schwarzen Fleck; diesen umgeben mehrere concentrische Farbenringe, auf sie folgt wieder ein dunkler Ring, hierauf wieder ein farbiger und so abwechselnd fort; die Farben werden immer schwächer, je größer die Ringe sind, und verlieren sich endlich ganz. Aehnliche Farbenringe bemerkt man auch im durchgelassenen Lichte, sie sind aber minder hell und an Farbe verschieden; jedem Ringe, der im reflectirten Lichte sich zeigt, entspricht im durchgelassenen ein anderer, dessen Farbe jene zu Weiß ergänzt. Die Farben folgen beständig in derselben Ordnung auf einander, sie erscheinen im luftleeren Raume, in verdünnter Luft, ja selbst, wenn statt Luft eine andere Flüssigkeit, z. B. Wasser, Weingeist, zwischen den Gläsern enthalten ist; der einzige Unterschied besteht in der verschiedenen Lebhaftigkeit der Farben und im Durchmesser der Ringe. In der Regel ist die Lebhaftigkeit der Farben größer in verdünnter Luft, als in Luft von natürlicher Dichte, und hier wieder größer, als wenn Wasser zwischen den Gläsern steht. Die Größe eines Ringes von bestimmter Farbe nimmt zu, wenn man ihn schief ansieht, die Gläser scharf an einander drückt oder das Brechungsvermögen der zwischen den Gläsern enthaltenen Flüssigkeit vermindert. Newton maß die Durchmesser dieser Ringe mit einer musterhaften Genauigkeit bei verschiedenen Einfallswinkeln des Lichtes und bei verschiedenen Flüssigkeiten, und überzeugte sich, daß unter übrigens gleichen Umständen der Durchmesser eines Ringes in demselben Verhältnisse kleiner werde, in welchem das Brechungsvermögen der Flüssigkeit zunimmt; eine Wahrheit, die deßhalb sehr wichtig ist,

weil sie lehrt, wie man die bei einer Flüssigkeit erhaltenen Resultate auf alle anderen ausdehnen kann.

Die Ordnung der Farben ist von der Mitte aus folgende: 1. Reihe: Schwarz, blau, weiß, gelb, orange, roth. 2. Reihe: Violett, indigoblau, blau, grün, gelb, orange, hellroth, scharlachroth. 3. Reihe: Purpurroth, indigoblau, blau, grün, roth, bläulichroth. 4. Reihe: Bläulichgrün, grün, roth. 5. Reihe: Grünlichblau, blaßroth. 6. Reihe: Grünlichblau, röthlichweiß. 7. Reihe: Grünlichblau, schwach röthlichweiß. Diese Farbenfolge ist jener an den Farbenringen einer senkrecht gegen die Axe geschnittenen Doppelspathplatte u. a. im polarisirten Lichte völlig gleich. Um die Newton'schen Ringe auf eine Wand zu projiciren und sie dadurch mehreren Personen zugleich und vergrößert wahrnehmbar zu machen, lasse man mittelst eines Sammelglases, in dessen Brennpunct man ein gutes Farbenglas bringt, im verdunkelten Zimmer einen Kegel convergirender Sonnenstrahlen schief darauf fallen; der reflectirte Strahlenkegel stellt an der Wand oder auf einem Schirme die Erscheinung lebhaft dar.

316. So betrachtet war das Phänomen der Farbenringe wegen des Zusammenwirkens der verschiedenen Bestandtheile des einfallenden Lichtes zu verwickelt, um die Gesetze desselben vollständig zu übersehen. Um es in seine Elemente zu zerlegen, ließ Newton auf das Farbenglas gleichartiges Licht fallen. Da zeigten sich folgende Erscheinungen: 1) Jeder gleichartige Strahl erzeugt Ringe von seiner eigenen Farbe, sowohl durch Reflexion als durch Transmission. 2) Jeder Ring ist sowohl im reflectirten als durchgelassenen Lichte von dem folgenden durch einen dunklen Zwischenraum getrennt; man kann deßhalb jeden einzelnen besser als im vollen Lichte, und deren auch mehrere wahrnehmen. Der dunkle Zwischenraum wird desto schmäler, je mehr sich die Ringe vom Mittelpuncte entfernen. 3) Jedem dunklen Zwischenraume im reflectirten Lichte entspricht im durchgelassenen ein farbiger Ring, und wo im letzteren der dunkle Zwischenraum ist, da befindet sich im ersteren ein Farbenring; jedoch sind diese dunklen Stellen minder lichtarm als im reflectirten Lichte. 4) Sowohl die reflectirten als die durchgelassenen Lichtringe haben eine angebbare Breite, die aber nicht gleichförmig beleuchtet ist, sondern die Lichtstärke verliert sich von einem Kreise in der Mitte jedes Ringes aus allmälig. 5) Bei jeder Lichtgattung nehmen die Quadrate der Halbmesser der reflectirten Farbenringe, und folglich die Abstände der einander zugekehrten inneren Glasflächen oder die Dicken der farbigen Schichte vom hellsten Puncte an gerechnet zu, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 rc. 6) Die Quadrate der Halbmesser der dunklen Zwischenräume oder die Dicken der wirkenden Lamelle an den betreffenden Stellen wachsen wie die geraden Zahlen 2, 4, 6 rc. 7) Bei den durchgelassenen Farbenringen entspricht der hellste Kreis dem dunkelsten im reflectirten Lichte; es findet daher hier dasselbe Verhältniß bei den dunklen Zwischenräumen Statt, wie im reflectirten Lichte bei den farbigen Ringen, und umgekehrt. 8) Der Durchmesser eines Ringes von derselben Ordnung wird desto kleiner, je brechbarer das Licht ist, das ihn bildet. So ist z. B. der vierte Ring im rothen Lichte größer als der vierte im gelben oder grünen.

Dieses erstreckt sich sogar auf die Unterschiede der Brechbarkeit im Lichte von derselben Farbe; denn ein Ring im Lichte vom äußersten Roth des prismatischen Farbenbildes erscheint größer, als einer von derselben Ordnung, der vom mittleren Roth entstand. 9) Auch die Breite eines Ringes derselben Ordnung ist desto kleiner, je größer die Brechbarkeit des ihn bildenden Lichtes ist. 10) Die Ringe sind in jedem Strahle am kleinsten, wenn das Licht senkrecht durch die Luftschichte geht, und werden desto größer, je schiefer der Strahl einfällt.

317. Alle diese Phänomene gründen sich auf die Interferenz des Lichtes. Vorerst kann einem die Aehnlichkeit zwischen den Interferenzphänomenen im weißen und farbigen Lichte mit jenen der Farbenringe bei weißer und farbiger Beleuchtung nicht entgehen. So wie die Interferenzphänomene im weißen Lichte aus dem theilweisen Zusammentreffen der einzelnen von jedem farbigen Strahle herrührenden dunklen und farbigen Streifen herrühren (221, 242), eben so geht es hier. Es entstehen nämlich von jedem Strahle so viele Ringsysteme, als er Theile von verschiedener Brechbarkeit enthält; viele dieser Ringe fallen zum Theile auf einander, und bringen durch ihren Gesammteindruck die Empfindung der Mittelfarben hervor, wie sie sich am Farbenglase zeigen. Daß diese Ansicht die wahre sey, kann man schon hieraus abnehmen, daß, wenn man ihr gemäß untersucht, welche Ringe auf einem Theile des Glases entstehen, und welche Farbe sie zusammen hervorbringen müssen, diese Farbe genau diejenige ist, welche der Versuch nachweiset. Daß aber der Grund dieser Erscheinungen nur in der Interferenz des von beiden Flächen des dünnen Plättchens ins Auge kommenden Lichtes zu suchen sey, wird zur Gewißheit erhoben, wenn man auf experimentellem Wege zu zeigen vermag, daß das Licht beider Flächen zur Hervorbringung der Erscheinung wesentlich nothwendig ist. Solche Beweise hat Airy gegeben. Legt man eine große Converlinse mit schwach gekrümmten Flächen auf einen Metallspiegel und läßt darauf Licht fallen, so zeigen sich die Newton'schen Farbenringe. Gibt man dem einfallenden Lichtbündel gegen die Glasflächen jene Neigung, die zur Polarisirung desselben nothwendig ist, und betrachtet sodann die Erscheinung mittelst eines Turmalinplättchens oder Nicol-schen Prisma's in solcher Lage, daß das von den Glasflächen reflectirte Licht weggeschafft wird, so bleibt noch ein Theil des von der Metallfläche reflectirten Lichtes zurück, allein die Farbenringe verschwinden gänzlich. Dasselbe geschieht, wenn man gleich ursprünglich zur Beleuchtung des Apparates einen senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirten Lichtbündel verwendet. Sehr wichtig sind die Aenderungen, denen der bei der gewöhnlichen Versuchsweise dunkle Fleck in der Mitte der Farbenringe unterliegt, wenn die untere Fläche eine Metallfläche ist, und das nicht unter dem Polarisationswinkel einfallende Licht vor oder nach der Reflexion senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirt worden ist. Ist nämlich der Einfallswinkel kleiner als der Polarisationswinkel, so erscheint dieser Fleck dunkel; er wird hingegen weiß

gesehen, wenn der Einfallswinkel größer ist als der Polarisationswinkel. (Airy in Pogg. Ann. 26. 123.)

318. Die Erklärung der in Rede stehenden Erscheinungen nach dem Principe der Interferenz ist folgende: Es sey MN (Fig. 336) ein dünnes Plättchen aus einer durchsichtigen Substanz mit ebenen und parallelen Flächen. Auf dasselbe falle von einer Lichtquelle, deren Distanz vom Plättchen die Dicke desselben viele Male übertrifft, ein Strahl SA. Ein Theil desselben wird nach AO reflectirt, der andere dringt nach AB in das Plättchen ein. Dieser letztere liefert wieder einen nach BO′ aus dem Plättchen austretenden Theil. Außer dem Strahle SA gibt es noch eine Menge andere S′A′, S″A″, ... welche, nachdem sie im Innern des Plättchens ein, zwei, drei ... Male reflectirt worden sind, gleichfalls nach den Richtungen AO, BO′ Licht senden. Die Einfallspuncte dieser Strahlen werden durch die Bedingung bestimmt, daß die Winkel, welche B′A, A′B′, B″A′, A″B″ u. s. w. mit den Flächen von MN bilden, den Winkeln, welche AB mit diesen Flächen macht, gleich kommen. Die Intensitäten der Bestandtheile, welche sich zu dem nach AO, BO′ fortgepflanzten Lichte vereinigen, sind um so geringer, je weiter die Einfallspuncte der betreffenden Strahlen von A entfernt stehen; die Schwingungen, welche in den Strahlen AO, BO′ zusammen kommen, befinden sich in verschiedenen Phasen; da diese in einer auf die Richtungen SA, S′A′, S″A″, ... senkrechten Ebene als gleich betrachtet werden können, so lassen sich ihre Unterschiede, gleichwie die Intensitäten der entsprechenden Strahlen, aus der gemeinschaftlichen Incidenz und Farbe der Strahlen, aus der Dicke und dem Brechungsinder des Plättchens bestimmen, und darnach die Intensitäten der zusammengesetzten Strahlen AO, BO′ berechnen. Die Resultate dieser Rechnung harmoniren mit den Ergebnissen der Beobachtung auf das Genaueste.

Um an dem einfachsten Falle der Rechnung einen Begriff von dem Gange derselben zu geben, soll hier gezeigt werden, daß an der Berührungsstelle der zwei Gläser des Newton'schen Apparates zur Darstellung der Farbenringe nothwendig im senkrecht reflectirten Lichte ein dunkler Fleck erscheinen muß. Es seyen nämlich r, ρ die Brüche, mit welchen man die Vibrationsintensität des Lichtes multipliciren muß, um deren Werth nach einer äußern und innern Reflexion zu erhalten; ähnliche Multiplicatoren seyen s und σ für eine innere und äußere Brechung. Wird die Schwingungsintensität des einfallenden Lichtes $= 1$ gesetzt, so findet man die Schwingungsintensität 1) des an der äußeren Fläche reflectirten Lichtes $= r$; 2) des Strahles, der nach seinem Eindringen in das Plättchen an der Hinterfläche eine Reflexion erleidet, und sodann an der Vorderfläche austritt $= s\rho\sigma$; 3) des Strahles, der nach drei Reflexionen im Plättchen aus demselben kommt $= s\rho^3\sigma$ u. s. w. Nennt man die Schwingungsintensität des resultirenden Strahles v, so hat man, weil in dem vorliegenden Falle die Dicke des Plättchens $= 0$ anzunehmen ist, mithin kein Gangunterschied der Strahlen Statt findet,

$$v = r + s\rho\sigma + s\rho^3\sigma + s\rho^5\sigma + \ldots = r + s\rho\sigma\,(1 + \rho^2 + \rho^4 + \ldots)$$
$$= r + \frac{s\rho\sigma}{1-\rho^2} = \frac{r + \rho\,(s\sigma - r\rho)}{1-\rho^2}.$$

Ist n der Brechungsindex für den Uebergang des Lichtes aus der Luft in das Plättchen, so hat man nach den in 295 gegebenen Formeln, wenn man α und β als sehr klein betrachtet und $\alpha = n\beta$ setzt, $r = -\frac{n-1}{n+1}$, folglich nach Vertauschung von n mit $\frac{1}{n}$, $\rho = \frac{n-1}{n+1}$, also $\rho = -r$. Ferner hat man, unter der Annahme, daß sich die Intensität des einfallenden Lichtes in jene des reflectirten und gebrochenen theilt, $s^2 = 1 - r^2$, also $s^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 = \frac{4n}{(n+1)^2}$, und eben so $\sigma^2 = \frac{4n}{(n+1)^2}$, mithin $s\sigma = \frac{4n}{(n+1)^2}$ und $r\rho = -\frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$, also $s\sigma - r\rho = \frac{4n + (n-1)^2}{(n+1)^2} = 1$. Mit Rücksicht auf diese Resultate ergibt sich $v = 0$. Der Gegensatz der Zeichen von r und ρ ist dem Verluste einer halben Undulation bei der Reflexion an der inneren Fläche im Vergleiche mit jener an der äußeren äquivalent, und entspricht vollkommen der im ersten Theile 370 betrachteten Umkehrung der Lage der reflectirten Welle.

Als ein Beleg, wie man in der Emantionshypothese zu verfahren genöthiget war, mag die Art dienen, auf welche Newton das Phänomen der Farben dünner Plättchen, um dessen Beobachtung er so große Verdienste hat, auffaßte. Er sah darin die Andeutung einer dem Lichte eigenen Qualität, vermöge welcher sich die Theilchen desselben in periodisch wechselnden Zuständen befinden, mit denen in gleichem Maße die Disposition zur Reflexion und zur Transmission wechselt. Diese Variationen des Zustandes nannte er Anwandlungen zur leichteren Reflexion und Transmission *(accessus facilioris reflexionis et transmissionis)*, und den Weg, den ein Lichttheilchen durchläuft, bis es die am Anfange desselben gehabte Anwandlung wieder erlangt, welcher Weg wegen der gleichförmigen Bewegung in demselben Mittel und wegen der gleichen Dauer der Anwandlungen für Lichttheilchen von einer bestimmten Farbe constant ist, Intervall der Anwandlungen. Er nahm an, dieses Intervall variire bei dem senkrechten Uebergange des Lichtes in ein neues Medium, und verhalte sich zu dem früheren wie der Brechungsexponent zur Einheit; bei schiefer Incidenz dependire es überdieß vom Einfallswinkel, und sey unter gleichen Umständen um so kleiner, je weiter die Farbe des Lichtes im Spectrum vom Roth entfernt steht. Ein Lichttheilchen, welches reflectirt wird, nachdem es in ein Mittel bis zu einer gewissen Tiefe = c eingedrungen ist, wird dem gemäß gleichfalls reflectirt, wenn die Schichte des Mittels die Dicke 3c, 5c, 7c u. s. w. hat, dagegen durchgelassen, wenn die Dicke der Schichte 2c, 4c, 6c u. s. w. ist. Da am Newton'schen Farbenglase die Quadrate der Halbmesser der abwechselnd hellen und dunklen Ringe wie die natürlichen Zahlen, und eben so die den Ringen entsprechenden Dicken der zwischen den Gläsern befindlichen Schichten wachsen, so folgt hieraus das Phänomen der Farbenringe von selbst. Newton bestimmte die Größe von c für die verschiedenen farbigen Strahlen; der Werth derselben ist dem vierten Theile der Länge einer Lichtwelle gleich. Aber dieß ist keine Erklärung der Farbenerscheinungen dünner Plättchen; ja nicht einmal das Verdienst, ein allgemeiner Ausdruck des Phänomens zu seyn, kommt dieser Darstellung zu, seitdem bewiesen wurde, daß das an der oberen Fläche eines

Plättchens reflectirte, also gar nicht eingedrungene Licht zur Hervorbringung der Erscheinung eben so wesentlich beiträgt, wie letzteres.

Young, der die Erklärung der Newton'schen Farben nach der Undulationstheorie zuerst gab, betrachtete dabei bloß die zwei Strahlen S A und S'A'; daß es nöthig sey, eine unendliche Anzahl von Reflexionen in Erwägung zu ziehen, bemerkte zuerst Poisson. Fresnel trug seinerseits zur Aufklärung des Gegenstandes bei. Eine vollständige Theorie gibt Airy (Pogg. Ann. 41. 512).

Nebst den Farbenphänomenen dünner Plättchen zeigen sich unter günstigen Umständen auch derlei Erscheinungen an dicken Platten. Sie rühren von der Interferenz von Strahlensystemen her, welche mehrere Brechungen und Reflexionen erlitten haben. Solche hat in der That Brewster an Luftschichten wahrgenommen, welche zwischen parallelen Glasplatten oder zwischen einer hohlen und einer erhabenen Linse enthalten sind (Pogg. Ann. 26. 150). Schließt man das eine Ende einer Röhre von etwa 10 Zoll Länge mit einem Deckel, worin sich eine rechtwinklige Oeffnung von etwa $^1/_2$ Zoll Breite befindet, und deckt das andere Ende mit einer Glasplatte, gegen welche eine zweite unter einem sehr kleinen Winkel geneigte gestellt ist, und sieht man durch die Glasplatten gegen die Oeffnung am andern Ende, so zeigen sich bei hinreichendem Lichte mehrere den Interferenzstreifen ähnliche Farbenspectra, die der Kante des Winkels der Glasplatten parallel sind.

Achtes Kapitel.

Erleuchtung und Absorption des Lichtes.

319. Ein leuchtender Punct sendet ringsum Strahlen von gleicher Intensität aus. Denkt man sich einen solchen Punct als Centrum einer Kugelfläche, so fällt jeder ausgehende Strahl senkrecht auf diese Fläche auf und erleuchtet sie, und gleiche Flächen werden offenbar von gleichen Lichtmengen, d. h. von gleich dichtem Lichte getroffen. Die Lichtmengen, welche daher zwei ungleich große Stücke einer solchen Fläche treffen, verhalten sich offenbar direct wie die Leuchtkraft (der Glanz) der leuchtenden Puncte und die Größe der betreffenden Flächen. Denkt man sich den Halbmesser der Kugelfläche größer, so entsteht eine neue Kugelfläche, die im Verhältnisse des Quadrates des Halbmessers größer ist, ohne doch mehr Licht zu erhalten, als die erstere. Daher steht die Dichte des Lichtes, welches ein leuchtender Punct auf Stücke von Kugelflächen sendet, bei demselben Glanze der Lichtquelle im verkehrten Verhältnisse mit dem Quadrate der Entfernung dieser Fläche von der Lichtquelle. Ist die erleuchtete Fläche nicht eine Kugelfläche, in deren Mittelpunct sich der leuchtende Punct befindet, so kann man die Strahlen nur auf ein sehr kleines Stück (ein Element) derselben für senkrecht annehmen, und die Beleuchtung nach obiger Regel berechnen, die andern werden von den Lichtstrahlen schief getroffen und nach einem andern Gesetze erleuchtet. Man nimmt allgemein an, daß die Erleuchtung bei übrigens gleichen Umständen so abnimmt, wie der Sinus des Winkels wächst, unter welchem das Licht einfällt. Hat man es endlich nicht mit einem leuchtenden Puncte,

sondern mit einem leuchtenden Körper zu thun, so richtet sich die einer Fläche dadurch zu Theil gewordene Erleuchtung auch noch nach der Menge der der zu beleuchtenden Fläche zugekehrten leuchtenden Puncte, mithin nach der Größe der leuchtenden Fläche, und muß für jeden Punct eigens berechnet werden; denn es haben nicht alle Strahlen einerlei Intensität, sondern die schief ausfahrenden sind in dem Verhältnisse weniger intensiv, als der Sinus des Ausstrahlungswinkels größer ist. Demnach steht die Erleuchtung einer Fläche im geraden Verhältnisse mit dem Glanze und der Größe der leuchtenden Fläche, im verkehrten mit dem Sinus des Ausstrahlungs- und Einfallswinkels und mit dem Quadrate der Entfernung der Lichtquelle von der genannten Fläche.

320. Das Licht, welches eine dunkle Fläche trifft, erleidet auf derselben mehrere Modificationen. Ein Theil desselben wird nämlich reflectirt, ein anderer dringt in den Körper ein, und sowohl der reflectirte, als der eingedrungene verhält sich wieder auf verschiedene Art. Man unterscheidet bekanntlich beim zurückgeworfenen Lichte das regelmäßig reflectirte, welchen uns das Bild des leuchtenden Körpers zeigt, von dem zerstreut zurückgeworfenen, wodurch der reflectirende Körper selbst sichtbar wird. Der Antheil an letzterem ist desto größer, je polirter der reflectirende Körper und je größer der Einfallswinkel des Lichtes ist. Daher kommt es, daß manche Körper, die bei fast senkrecht auffallendem Lichte keine Spur von Glanz zeigen, spiegeln, wenn man sie schief ansieht, und daß ein Körper durch bloßes Glätten seiner Oberfläche zum Spiegel wird. Manche Körper reflectiren, wenn ihre Oberfläche rauh ist, eine sehr geringe Menge Licht, wie es nach Brewster an einem Rauchtopase der Fall war, der an seinen Bruchflächen ganz schwarz erschien, ungeachtet er an den natürlichen Flächen viel Licht reflectirte. Die Menge des reflectirten Lichtes steht, wie die Gesetze der Polarisation lehren, mit dem Brechungsexponenten der zwei an einander grenzenden Mittel in Zusammenhang, nämlich des reflectirenden, und desjenigen, durch welches das Licht dahin gelangt. Das von einem Körper zerstreut reflectirte Licht geht von jedem Puncte desselben nach allen Richtungen aus und macht ihn sichtbar, kann aber auch, wenn es von diesem wieder zurückgeworfen wird, andere Körper wie jeder leuchtende erleuchten. Die Größe dieser Erleuchtung wird von denselben Gesetzen beherrscht wie die von einem leuchtenden Körper herrührende.

Nach Bouguer wird von einem Lichtstrahle, der senkrecht von der Luft auf Wasser fällt, 0,018, von einem, der eben so von Luft auf Glas kommt, 0,025 reflectirt. Nach Herschel reflectirt ein Metallspiegel 0,673 des auffallenden Lichtes. Lambert fand, daß die Menge des von Glas reflectirten Lichtes bei den Einfallswinkeln (von der Trennungsfläche der Mittel an gerechnet) 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, durch folgende Zahlen ausgedrückt werde: 0,483; 0,367; 0,279; 0,210; 0,165; 0,136; 0,115; 0,98. Schwarzer Marmor reflectirt bei 3° 35′, 15°, 30°, 80°, folgende Lichtmengen: 0,6; 0,156; 0,051; 0,023. Nach Potter nimmt das Reflexionsvermögen frisch polirter Spiegel mit der Zeit rasch ab. (Pogg. Ann. 22. 606.)

321. Auch das in einen Körper eingedrungene Licht verhält sich auf mehrfache Weise: In denjenigen Körpern nämlich, welche wir undurchsichtige nennen, wird alles nicht reflectirte Licht verschluckt (absorbirt), in den durchsichtigen geschieht dieses nur mit einem Theile desselben, der andere geht durch den Körper hindurch, erleidet aber auf dem Wege ununterbrochene Zerstreuungen, und der Rest verläßt den Körper wieder nach einer den Brechungsgesetzen entsprechenden Richtung. Kein Körper nimmt alles auf ihn fallende Licht auf; denn an der Grenze zweier Mittel muß jeder Strahl in zwei Theile getheilt werden, wovon einer reflectirt wird. Wollte man demnach nur solche Körper vollkommen durchsichtig nennen, die alles auffallende Licht aufnehmen und durchleiten, so wäre ein solcher Körper etwas Unmögliches. Wohl ist aber ein Körper denkbar, der den einmal aufgenommenen Antheil des auf ihn gefallenen Lichtes ungeschwächt bis zur andern Grenze fortleitet, und ein solcher heißt eigentlich **vollkommen durchsichtig**. Aber es scheint nicht einmal einen solchen Körper in der Natur zu geben; denn das Licht wird auf seinem Wege in jedem Körper durch Zerstreuung geschwächt, woran der Mangel an Continuität und Homogeneität der Masse schuld seyn mag. Dieses zeigt z. B. folgender Versuch: Man leite einen intensiven Lichtstrahl AB (Fig. 337) in ein verfinstertes Zimmer, und lasse ihn recht schief auf ein ziemlich langes und dickes, reines Glasprisma fallen. Da sieht man den reflectirten Strahl deutlich im Innern des Glases den Weg BFCGDKEI nehmen, zugleich aber gebrochene Theile davon in C, D, E, F, G, K, I in die Luft austreten. Der Glaskörper selbst erscheint in allen Puncten des Innern sichtbar, zum Beweise, daß auch fast an jeder Stelle eine Zerstreuung des Lichtes eintrete, und sich der an den äußeren Grenzen bemerkbare Vorgang im Innern unzählige Male wiederhole. Eine natürliche Folge dieses Verhaltens ist, daß selbst bei dem durchsichtigsten Mittel der reflectirte und der durchgelassene Strahl zusammengenommen eine geringere Intensität haben, als der einfallende, und daß der Unterschied desto größer ausfällt, je größer der Weg ist, den das Licht im Innern eines Körpers zurücklegen muß. Der Unterschied zwischen der Intensität eines einfallenden Strahles und der Summe des reflectirten und durchgelassenen Antheiles desselben bestimmt die durch den Körper **absorbirte** (ausgelöschte) Lichtmenge.

Denkt man sich das betreffende Mittel in m gleich dicke Schichten getheilt, nennt die Intensität des eindringenden Lichtes I, und stellt sich vor, in jeder solcher Schichte werde der Theil μI desselben absorbirt; so hat offenbar das Licht in der ersten Schichte die Intensität $I(1-\mu)$, in der zweiten die Intensität $I(1-\mu)^2$ und in der letzten (mten) die Intensität $I(1-\mu)^m$. Es nimmt demnach die Lichtstärke in einem geometrischen Verhältnisse ab, wenn die Dicke des Mittels in arithmetischem zunimmt. Der Werth von μ hängt von der Natur des Mittels, besonders von dessen Dichte, von der Brechbarkeit des Lichtes und von der Temperatur ab. Die Größe $1-\mu$ gibt das Maß der **specifischen Durchsichtigkeit** der Körper an.

Nach **Lambert** wird von einer grünlichen Glasplatte, bei einem Einfallswinkel von 41°, $^3/_{17}$ des einfallenden Lichtes absorbirt. Seewasser

absorbirt bei einer Dicke von 679 Fuß alles Licht, und selbst die Luft würde bei einer Höhe von 518385 Toisen alles Sonnenlicht absorbiren. Dieselbe läßt nach Lambert beim senkrechten Einfallen 0,5889 durch. Ein Stück gemeinen Fensterglases läßt die Hälfte, 16 solche Stücke, die zusammen 9½ L. dick sind, lassen $1/_{247}$ und 76—80 solche Stücke gar nichts vom Sonnenlichte durch. Setzt man μ für Luft = 1, so ist sein Werth für Meerwasser 5,651, oder Meerwasser verschluckt 5,651mal mehr Licht als Luft. Berücksichtigt man, daß das Meerwasser über 1000mal dichter als Luft ist, so sieht man, daß seine absolute Durchsichtigkeit fast 5000mal kleiner seyn als jene der Luft. Aus dem Gesagten erkennt man auch den großen Einfluß der Homogeneität der Masse auf ihre Durchsichtigkeit, und kann sich viele Erscheinungen erklären, z. B. warum Papier durchsichtiger wird, wenn man die in seinen Poren enthaltene Luft durch Oehl ersetzt (es öhlet), warum die Luft desto durchsichtiger ist, je mehr Wasserdünste sie enthält, warum alle Gase Durchsichtigkeit besitzen, der Hydrophan an Durchsichtigkeit dem Glase gleich kommt, wenn man die Luft in seinen Zwischenräumen durch Wasser ersetzt; ein nicht polirtes Glasstück völlig durchsichtig erscheint, wenn man es mit Wasser oder noch besser mit Terpentinöhl benetzt, dessen Brechungsvermögen dem des Glases nahe gleich kommt. Man kann diesen Umstand sogar zur Bestimmung des Brechungsvermögens eines Körpers, der zur unmittelbaren Erörterung dieser Größe entweder zu klein ist oder zu wenig durchsichtig erscheint, anwenden, indem man nur eine Flüssigkeit auszumitteln braucht, in welcher derselbe völlig durchsichtig erscheint, das Brechungsvermögen dieser Flüssigkeit ist dann zugleich das des betreffenden Körpers. Durch dieses Mittel erkennt man auch leicht die kleinsten, die Durchsichtigkeit störenden Fehler im Innern ungeschliffener Edelsteine. Zwei Glasplatten sind durchsichtiger, wenn sich Wasser, als wenn sich Luft zwischen ihnen befindet, am durchsichtigsten aber, wenn man sie mit einem aus Guajacharz und Canadabalsam bestehenden Firniß zusammenkittet. Glas verliert seine Durchsichtigkeit durch Zerstoßen (Mengen der Glastheile mit Luft).

322. Die absorbirenden Mittel wirken in der Regel nicht auf alle farbigen Strahlen mit gleicher Stärke, sondern afficiren gewisse Strahlen mehr als andere. Die Folge davon ist, daß das von einem solchen Mittel reflectirte oder durchgelassene Licht nicht bloß in seiner Intensität, sondern auch in seiner Farbe verändert erscheint, indem offenbar in dem nach der Absorption übrig gebliebenen Lichte jene Farbe vorherrschend seyn wird, welche im Verhältniß zu ihrer Intensität in geringstem Maße absorbirt worden ist. Ein Körper erscheint uns auch in der That immer von der Farbe, welche dem von ihm reflectirten und durchgelassenen Lichte zukommt, d. h. grün, blau oder gelb, je nachdem in dem von ihm reflectirten oder durchgelassenen Lichte die grünen, blauen oder gelben Strahlen die Oberhand haben. Weiß heißt der, welcher alle Lichtstrahlen nahe in demselben Verhältnisse absorbirt, und diese seine Farbe geht nach Maßgabe der größeren Absorption durch die mannigfaltigsten Abstufungen der Helligkeit hindurch ins Graue und zuletzt, wenn fast alles Licht vernichtet ist, ins Schwarze über. So viele Mischungsverhältnisse der farbigen Lichtstrahlen möglich sind, eben so viele Farbentöne kann es geben.

323. Meistens reflectirt ein Körper andere Strahlen, als er in seine Masse aufnimmt, und häufig sind diese beiderlei Farben Ergänzungsfarben. Ist der Körper durchsichtig genug, um noch bei einer merklichen Dicke Licht durchzulassen, oder dünn genug, um transparent zu erscheinen; so sieht man ihn in der That in zweierlei Farben, je nachdem er reflectirtes oder durchgelassenes Licht ins Auge sendet. So z. B. reflectirt Wasser grünes Licht und nimmt rothes auf, eben so wirft ein sehr dünnes Goldplättchen röthlichgelbes Licht zurück und läßt grünlichblaues durchgehen. Daß mancher Körper im reflectirten und im durchgelassenen Lichte von gleicher Farbe erscheint, rührt nur davon her, daß er in beiden Fällen ein Gemenge von reflectirtem und gebrochenem Lichte ins Auge sendet.

Nach den von Herschel gemachten Erfahrungen werden verschiedenfarbige Strahlen in demselben Mittel immer nach dem Gesetze absorbirt, daß die Menge des durchgehenden Lichtes in einem geometrischen Verhältnisse abnimmt, wenn die Dicke des Mittels im arithmetischen Verhältnisse zunimmt, allein der Exponent $1-\mu$ des geometrischen Verhältnisses (321) hat für jede Strahlengattung einen andern Werth. Ein Körper wird diejenigen Strahlen durchlassen, für welche der Werth von μ am kleinsten ist, und die übrigen absorbiren oder reflectiren. Kann man ihn so dünn ausarbeiten, als es der Werth von μ für andere Strahlen verlangt, so wird er anders gefärbt erscheinen. Von der Art ist z. B. Saftgrün, das in einer dünnen Schichte smaragdgrün, in einer dicken hingegen blutroth aussieht. Man darf aber hiebei nicht vergessen, daß Strahlen, deren Intensität unter eine gewisse Größe herabsinkt, keinen Eindruck mehr in unserem Auge hervorbringen.

Gesetzt, es sey der Werth von μ bei einem Körper von der Art, daß $1-\mu$ für das äußerste Roth = 0,9. für gewöhnliches Roth, für Orange und Gelb = 0,1, für Blau, Dunkelblau und Violet = 0,1 beträgt, und daß in 10,000 weißen Strahlen deren 200 vom äußersten Roth, 1300 rothe und orange, 3000 gelbe, 2800 grüne, 1200 lichtblaue, 1000 dunkelblaue und 500 violette vorkommen; so bleiben von diesen noch übrig:

nach der	ersten,	zweiten,	dritten,	vierten Schichte = 1
Aeußerste Rothe . .	180	162	146	131
Rothe und Orange .	130	13	1	0
Gelbe	300	30	3	0
Grüne	1400	700	350	175
Blaue	120	12	1	0
Dunkelblaue . . .	100	10	1	0
Violette	50	5	0	0

und dieser Körper erscheint demnach in der Dicke = 1 grün, in der Dicke = 2 weniger grün, in der 3ten mischt sich Roth dazu, und nach der 4ten bleibt nur ein dunkles Rothgrün übrig. Aus der verschiedenen Mischung der einzelnen Farben erklärt man sich leicht die ungeheure Mannigfaltigkeit der Färbung, und begreift, wie schon die Römer bloß bei ihren Mosaikarbeiten 30,000 verschiedene Farben haben konnten.

324. In welchem Verhältnisse ein Mittel die verschiedenfarbigen Theile eines weißen Lichtstrahles absorbirt, erfährt man am leichtesten, wenn man dieses Mittel mit parallelen Wänden begrenzt, weißes Licht durchleitet, daraus mittelst eines reinen nicht absorbirenden Prisma's

ein Farbenbild erzeugt und dieses mit jenem Farbenbilde vergleicht, welches man von weißem Lichte erhält, das nicht durch jenes absorbirende Mittel gegangen ist. Da werden natürlich jene Stellen des ersteren Spectrums, deren Licht in größerem Maße absorbirt worden ist, minder hell erscheinen, als die entsprechenden des zweiten Spectrums, ja wenn einiges Licht ganz vernichtet worden, so wird man an den entsprechenden Stellen des Spectrums dunkle Räume oder Linien bemerken. So z. B. gibt Licht, welches durch kobaltblaues Glas gegangen ist, ein Spectrum, in welchem das Orange nach Maßgabe der Färbung des Glases ganz oder zum Theil ausgelöscht, das Roth aber sehr geschwächt ist. Höchst merkwürdig sind in dieser Beziehung die Erscheinungen, welche ein Farbenbild gewährt, dessen Licht vorläufig durch eine hinreichend dicke Schichte von salpetrigsaurem Gas, von Jod- oder Bromdampf gegangen ist. Zwischen dem mit Kerzenlicht, nachdem es durch salpetrigsaures Gas gegangen ist, erhaltenen Spectrum und jenem des directen Sonnenspectrums fand Brewster eine sehr große Uebereinstimmung, indem sich in beiden die dunklen Linien auf ähnliche Weise angeordnet zeigen. Licht, das durch Jod- oder Bromdampf gegangen ist, gibt ein Spectrum mit vielen fast gleich weit von einander abstehenden dunklen Linien. Chlorgas löscht das Blau im Spectrum aus, ohne dunkle Linien zu erzeugen. Oralsaures Chromoxydkali wirkt sowohl im festen Zustande, als in einer wässerigen Lösung höchst merkwürdig auf das Sonnenspectrum. Schon bei der kleinsten Dicke wirkt es schwächend auf die gelben Strahlen bei D (212). Bei zunehmender Dicke verschwindet das Violet, das Gelb, das Orange das weniger brechbare Grün, bis das Spectrum nur mehr aus zwei abgesonderten Theilen, einem rothen und einem grünlichblauen besteht. Bei noch mehr zunehmender Dicke erlischt das Grün an der blauen Seite und das Blau an der violetten Seite, und zuletzt bleibt nur mehr Roth zurück. Merkwürdig ist überdieß in dem Spectrum des durch diesen Körper gegangenen Lichtes das Auftreten einer scharf begrenzten Linie im Roth, zwischen den Fraunhofer'schen Linien A und B, die ihrer leichten Erkennbarkeit wegen zur Bestimmung des Brechungsvermögens durchsichtiger Körper in Bezug auf rothes Licht besonders geeignet ist. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum von der gewisse Strahlen absorbirenden Kraft der Atmosphäre herrühren. Es würde daraus begreiflich, wie Brewster in Edinburg im Spectrum eine Anordnung der dunklen Linien finden konnte, die von der durch Fraunhofer in München, als bei einer geringeren geogr. Breite gesehenen so stark abwich. (Pogg. Ann. 28. 385; 32. 128; 33. 233; 37. 315; 38. 52. Herschel *Treat. on Astron. p.* 212.)

325. Es ist Jedermann bekannt, welches Licht man weiß nennt. Die Vorstellung des Weißen läßt sich so wenig als die einer andern Farbe durch eine Beschreibung beibringen; dem Physiker ist aber bekannt, daß weißes Licht aus allen farbigen, in einem gewissen Verhältnisse gemischten Strahlen bestehe. Ein Licht reflectirender Körper heißt auch weiß, wenn er die farbigen Strahlen in dem Verhältnisse

reflectirt, wie sie im weißen Lichte vorkommen, und seine Weiße heißt absolut, wenn er alle auffallenden Strahlen im gehörigen Verhältnisse zerstreut zurückwirft. Diese absolute Weiße wird als Einheit der Weiße überhaupt angenommen, wenn es auch keinen Körper gibt, dem sie zukommt. Die Weiße eines Körpers, der nicht alle auffallenden Strahlen zu reflectiren vermag, bezeichnet man mit dem Bruche, der den reflectirten Theil des auffallenden Lichtes ausdrückt. So ist die Weiße = $^1/_8$, wenn $^1/_8$ der auffallenden Strahlen zerstreut werden. So wie man weißes Licht zum Maßstabe der Weiße macht, eben so kann man das in demselben enthaltene rothe Licht zum Maßstabe der Röthe, das darin befindliche blaue zum Maßstabe der Bläue ꝛc. machen, und die Röthe, Bläue ꝛc. eines Körpers durch jene Zahl ausdrücken, welche angibt, den wievielten Theil der im Weiß enthaltenen rothen oder blauen Strahlen ein Stoff zerstreut zurückwirft. Die Bestimmung dieser Zahl geschieht durch besondere Versuche.

So z. B. bestimmt Lambert die Röthe von Siegellack dadurch, daß er eine Stange desselben auf ein schwarzes, von der Sonne stark beschienenes Papier legt, und neben dieselbe einen Streifen weißes Papier. Während er das Siegellack mit einem Auge ansieht, hält er über das weiße Papier ein dreiseitiges Glasprisma, richtet es auf dieses Papier, und wendet es so lange, bis der durch dasselbe erscheinende rothe Streifen auf dem Papiere so intensiv roth erscheint, wie das Siegellack. Es ist also hier die Röthe des Siegellacks der Weiße des Papieres gleich; wegen der unvollkommenen Durchsichtigkeit des Prisma's ist aber letztere um so viel größer, als das Prisma Licht absorbirt oder zerstreut. Ist nun die Weiße des Papiers aus andern Versuchen bekannt, so ist auch die Röthe des Siegellacks gefunden. Die sogenannten farbigen Körper reflectiren nicht bloß das Licht von jener Farbe, unter der sie erscheinen, sondern auch jedes andere, jedoch in einem viel geringeren Grade; man kann daher wohl von der Röthe oder Weiße ꝛc. eines grünen, gelben, blauen Körpers sprechen, und sie sogar durch Versuche, wie der vorhergehende war, bestimmen.
Nach Lambert's Versuchen ist die Weiße eines Blattes sehr weißen Papiers = 0,154, des Fließpapiers kaum = 0,0835, des Kremserweißes = 0,4230; die Röthe des mit Mennig gefärbten Papiers = 0,293, die Röthe des mit Zinnober gefärbten = 0,336.

326. Theils zur strengen Begründung der vorhergehenden photometrischen Sätze, theils zur Beantwortung anderer hieher gehörigen interessanten Fragen, muß man die Intensitäten sowohl des directen, als des von Körpern auf was immer für eine Weise modificirten Lichtes messen können. In dieser Beziehung treten aber ganz besondere Schwierigkeiten ein. Wir kennen kein Licht, das die zu einem Maßstabe für anzustellende Lichtmessungen nöthige Unveränderlichkeit besitzt, und sind daher gezwungen, jedesmal, wenn solche Untersuchungen anzustellen sind, irgend ein für die Dauer derselben möglichst gleichförmig fortdauerndes Licht als Einheit zum Grunde zu legen; ferner bleibt die Bestimmung des Lichtgrades immer dem Auge anheim gestellt, und man hat, wenn man davon die chemischen und erwärmenden Wirkungen des Lichtes ausnimmt, die wenigstens vor der Hand

noch nicht zu einem Maßstabe für das Licht geeignet sind, keine Scale, an der sich dieser Grad abnehmen ließe. Das Auge ist aber nicht im Stande, ein anderes Verhältniß zwischen der Stärke zweier leuchtenden Körper bestimmt zu erkennen, als das der Gleichheit, darum man auch bei den photometrischen Bestimmungen die mit einander zu vergleichenden Lichtstärken zur Gleichheit bringen, und nach den dazu nöthigen Maßregeln das Lichtverhältniß berechnen muß. Endlich gibt es so ungeheuer viele Grade der Färbung des Lichtes, daß zwei ganz gleichfärbige leuchtende oder beleuchtete Körper nicht gar häufig vorkommen, und doch begründet jede Farbenverschiedenheit eine Art Ungleichartigkeit, die bei Dingen, deren eines durch das andere, oder die mit einem gemeinschaftlichen Maße gemessen werden sollen, schlechterdings nicht vorhanden seyn soll. Die Instrumente, welche zur Vergleichung verschiedener Lichtstärken dienen, heißen **Photometer**. Es gibt deren mehrere, darunter aber kein einziges, über dessen Werth die Physiker einerlei Meinung wären. Alle beruhen darauf, daß man die Wirkungen der zu vergleichenden Lichtquellen entweder durch Veränderung ihrer Entfernung von der zu beleuchtenden Fläche (**Rumford's**, **Bouguer's**, **Wollastons**, **Ritchie's** Photometer) oder durch Absorption in Mitteln von verschiedener Dicke (**Lampadius**, **Maistre's** Photometer), oder durch eine Anzahl von Reflexionen (**Quetelet's** Photometer), oder durch Verwandlung ihrer Bilder in Lichtflächen (**Steinheil's** Photometer), oder durch schnell auf einander folgende Unterbrechungen ihrer Einwirkung auf das Auge (**Talbot's** Photometer) zur Gleichheit bringt, und hieraus dann die eigentlichen Lichtstärken berechnet. (Zeitsch. 1. 72; 6. 466; Pogg. Ann. 29. 186, 490; 34, 644; 35, 457.)

Eines der einfachsten ist das **Rumford'sche**. Es beruht auf dem Grundsatze, daß der Schatten eines Körpers desto dunkler erscheint, je stärker seine Umgebung erleuchtet ist, und besteht im Wesentlichen aus einer vertical stehenden weißen Fläche, vor welcher in der Entfernung von einigen Zollen ein etwa ½ Zoll dicker cylindrischer Stab steht. Will man den Glanz zweier leuchtenden Körper (für welche dieses Instrument vorzüglich paßt) mit einander vergleichen, so stellt man sie so hinter den Stab, daß derselbe zwei Schatten auf die weiße Fläche wirft, und entfernt die eine oder die andere Lichtquelle so weit vom Stabe, bis beide Schatten gleich dunkel erscheinen. In diesem Falle verhalten sich die Lichtstärken wie die Quadrate der Distanzen der leuchtenden Körper von der Fläche. Nach **Wollaston** wird das Licht der Sonne mit dem einer brennenden Kerze verglichen, indem man ersteres auf eine mit Quecksilber gefüllte Thermometerkugel fallen läßt, das durch Reflexion entstandene Bild durch ein Fernrohr mit einem Auge, die Flamme der Kerze hingegen durch eine Convexlinse mit dem andern Auge ansieht, endlich die Entfernungen dahin abändert, bis beide Bilder gleich hell erscheinen, und dann aus dem Halbmesser der Kugel und den obwaltenden Entfernungen das Verhältniß der Lichtstärke berechnet. Es ist klar, daß man durch Vergleichung der Sonne und verschiedener Sterne mit einem Kerzenlichte zur Kenntniß des Leuchtverhältnisses jener Körper unter einander gelangen kann (Zeitschr. 6. 466). **Ritchie's** Photometer besteht aus einem Kasten (Fig. 338), der beiderseits offen und inwendig geschwärzt ist, und worin sich zwei

glatte, gegen einander um 90°, gegen die obere Wand des Kastens um 45° geneigte ebene Papierflächen a und b befinden, denen gegenüber eine Oeffnung EG angebracht ist. Beim Gebrauche stellt man die zwei zu vergleichenden Körper den zwei Papierflächen im Kasten gegenüber, so daß letztere durch erstere Licht erhalten, und ändert diese Entfernung so lange ab, bis beide Lichtquellen den zwei Papierflächen eine gleiche Beleuchtung zu Theil werden lassen; in diesem Falle muß sich der Glanz der Lichtquellen nahe wie die Quadrate ihrer Entfernungen von den beleuchteten Flächen verhalten. Dieses Instrument gestattet eine große Präcision, besonders wenn man zur genauen Bestimmung der gleichen Erleuchtung der zwei Papierflächen an der Oeffnung EG eine Converlinse anbringt, und durch sie auf jene Flächen hinsieht (Zeitschr. 1. 71). Lampadius mißt die Lichtstärke der Körper durch die Anzahl von Hornscheiben, die gerade hinreicht, um alles Licht eines solchen zu absorbiren. Maistre bedient sich hiezu eines aus einem weißen und einem blauen Glasprisma zusammengesetzten Parallelepipeds, das mit dem dünnsten Theile des weißen Prisma's vor das Objectiv eines Fernrohres gebracht, hierauf das blaue Prisma so lange verschoben wird, bis das dadurch gesehene Bild des helleren Körpers, dem des minder helleren mit freiem Auge angesehenen gleich ist. Quetelet's Photometer besteht aus einer ebenen Glasplatte mit vollkommen parallelen Wänden, die mit rechtwinkligen Dreiecken von Zinnfolie belegt sind, welche eine solche Anordnung haben, daß sie die Platte in Planspiegel verwandeln, deren einer das einfallende Licht dem andern durch Reflexion zusendet, bis es gänzlich verschwindet. Steinheil's Photometer hat die specielle Bestimmung, die relativen Helligkeiten der Gestirne zu messen, und beruht auf zweckmäßigem Gebrauche eines dazu besonders vorgerichteten Fernrohres. Talbot's Photometer gründet sich darauf, daß die Helligkeit eines leuchtenden Gegenstandes, den man durch eine mit gleichen und gleichgestellten sectorenförmigen Löchern versehene schnell rotirende Scheibe betrachtet, in dem Verhältniß des (auf einem bestimmten mit der Scheibe concentrischen Kreise gemessenen) Abstandes zweier benachbarten Oeffnungen zur Breite einer Oeffnung, verringert wird. Auch die Eigenschaften des polarisirten Lichtes lassen sich zu photometrischen Zwecken benützen.

Nach Wollaston scheint das Sonnenlicht so stark wie jenes, das 5563 Kerzenflammen von 1 Fuß Entfernung ins Auge senden. Das Licht des Sirius ist 20,000 Millionenmal schwächer als das Sonnenlicht, und neunmal stärker als jenes der Vega. Das Mondlicht hat $^1/_{144}$ der Stärke des Kerzenlichtes in 12 Fuß Entfernung oder $^1/_{801072}$ des Sonnenlichtes. Lambert gibt die mittlere Helligkeit des Mondes bei seinen verschiedenen Phasen folgender Maßen an:

Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit
0°	0,0000	70	0,3366	130	0,5747
10	0,0494	80	0,3814	140	0,6043
20	0,0986	90	0,4244	150	0,6294
30	0,1475	100	0,4657	160	0,6490
40	0,1959	110	0,5048	170	0,6619
50	0,2437	120	0,5413	180	0,6666
60	0,2907				

Die Einheit dieser Zahlenangaben ist die Helligkeit des Vollmondes an der von den Sonnenstrahlen senkrecht getroffenen Stelle. Die mitt-

lere Helligkeit der Planeten in der Opposition wird von Lambert folgender Maßen angegeben:

Merkur	6,6735	Mars	0,4307
Venus	1,9113	Jupiter	0,0370
Erde	1,0000	Saturn	0,0110

327. Will man mit einem Photometer die Lichtmenge bestimmen, die ein durchsichtiger Körper reflectirt oder absorbirt, so darf man nur die verhältnißmäßige Stärke zweier ziemlich constanten Lichtquellen, z. B. zweier Wachskerzen, auszumitteln suchen, wenn sie ihr Licht unmittelbar auf den photometrischen Apparat senden, und dann, wenn die Strahlen des einen vorläufig durch den zu prüfenden Körper gehen. Um wie vielmal das durch diesen Körper gegangene Licht nun schwächer erscheint als vorhin, so viel kommt auf Rechnung der Absorption und Reflexion dieses Körpers. Wäre z. B. die Flamme einer Kerze dreimal stärker befunden worden, als die einer andern, aber nur $^1/_2$mal stärker als dieselbe, wenn ihr Licht durch eine Glasplatte gegangen ist; so beträgt die Menge der von der Glasplatte reflectirten und absorbirten Strahlen $^1/_6$ der auffallenden. Auf ähnliche Weise kann man auch die von einem Körper reflectirte Lichtmenge durch ein Photometer bestimmen. Das Hauptwerk über Photometrie ist: *Lamberti Photometria. Aug. Vind.* 1760. Ferner *Bouguer sur la gradation de la lumière.* Paris 1760.

Neuntes Kapitel.

Das Auge und das Sehen.

328. Durch den Sinn des Gesichtes gelangen wir zur Vorstellung der Größe, Entfernung, Gestalt, Lage, Bewegung und Farbe eines Körpers. Das Organ dieses Sinnes ist das Auge. Der für den Physiker wichtigste Theil des Auges ist der Augapfel. Dieser befindet sich in einer Höhlung im Kopfe, in welcher er durch Muskeln nach verschiedenen Seiten bewegt werden kann, und ist durch die Augenlieder und Augenwimpern vor äußeren zu starken Einwirkungen und vor Unreinigkeit geschützt. Der Augapfel (Fig. 339) hat nahe die Gestalt einer Kugel, und besteht im Wesentlichen aus Häuten und sogenannten Feuchtigkeiten. Die äußerste, dicke, feste, weiße, elastische Haut a heißt die harte Haut (tunica sclerotica); ihr vorderer durchsichtiger, mehr convexer Theil b Hornhaut (cornea). Unter der harten Haut liegt die Aderhaut (tunica choroidea). Diese besteht meistens aus kleinen Gefäßen, liegt hinten an die harte Haut an, trennt sich aber vorne, wo die Hornhaut anfängt, von derselben, und geht in die Regenbogenhaut (iris) über. Diese hat in der Mitte eine Oeffnung, das Lichtloch c (pupilla), welche sich erweitern und zusammenziehen kann. Endlich befindet sich innerhalb der Aderhaut die Netzhaut (retina),

welche eine Ausbreitung des Sehnerves d ist. Das Innere des Augapfels ist durch die Regenbogenhaut in zwei Kammern getheilt, welche durch die Pupille mit einander in Communication stehen. In diesen Kammern befinden sich die Feuchtigkeiten. Die innere Kammer zwischen der Netzhaut und der Regenbogenhaut enthält die Glasfeuchtigkeit, eine äußerst durchsichtige, gallertartige Substanz. In einer Vertiefung derselben gegen vorne liegt die zwar beiderseits, aber ungleich convexe, nach *Krause's* vielen und sorgfältigen Messungen vorne elliptisch, rückwärts parabolisch gekrümmte *Krystalllinse* e, die aus zarten Platten besteht, welche inwendig einen dichteren Kern in sich schließen; ihre convexe Seite ist gegen die Netzhaut gekehrt. Sie befindet sich in einer durchsichtigen Kapsel, welche nach *Th Smith* am Umfange mit einem Muskelbündel versehen ist. Zwischen der Linse und der Hornhaut ist endlich eine wasserhelle, etwas salzige Flüssigkeit, die sogenannte wässerige Feuchtigkeit, enthalten. Die Augen vieler Thiere, wie z. B. der meisten Säugethiere, der Vögel, sind denen des Menschen sehr ähnlich. Fische haben eine fast kugelförmige Krystalllinse, nur wenig Glasfeuchtigkeit und fast keine Wasserfeuchtigkeit. Insecten haben zwei Arten von Augen, kleine einfache und große facettirte. Beide kommen in verschiedener Anzahl vor. (Anatomische und physiologische Darstellung des menschlichen Auges von *F. Müller.* Wien, 1819. Ueber die Dimensionen des Auges und seiner Theile s. *Krause* in Pogg. Ann. 39. 529.)

329. Kommt von einem leuchtenden Puncte Licht ins Auge, so dringt der auf die Pupille fallende Strahlenkegel in dasselbe ein und wird durch Brechung in den verschiedenen brechenden Mitteln des Auges zu einem Bilde vereinigt. Das Bild im Auge afficirt den Sehnerv und regt dadurch das Empfindungsvermögen an, in Folge dessen das Sehen erfolgt. Wie dieses vor sich gehe, wäre eine für den Physiker fremdartige Untersuchung, wenn sie auch innerhalb der Grenzen des menschlichen Wissens läge.

330. Damit dieses Bild auf die gehörige Weise wahrgenommen werden könne, muß es *deutlich*, *hinreichend hell* seyn, gerade *auf die Netzhaut fallen*, eine *hinreichende Größe haben* und *lange genug anhalten*. Zur Erzielung der nöthigen *Deutlichkeit* ist das Auge so eingerichtet, daß die Bilder von der sphärischen Abweichung frei sind. Zur Aufhebung dieser Abweichung trägt vorzüglich die geringe Ausdehnung der Pupille, die Form der Krystalllinse, die Lage der als Blendung dienenden Iris und endlich die Wölbung der Netzhaut bei; von der chromatischen Abweichung ist das Bild im Auge nicht frei, und die brechenden und zerstreuenden Kräfte der Krystall- und Glasfeuchtigkeit sind von der Art, daß sie eine chromatische Compensation unmöglich machen; auch ist der vollkommene Achromatismus des Auges nicht nothwendig, da man ohnehin nur die in der Axe oder nahe an ihr liegenden Objecte deutlich sieht (Gilb. Ann. 56. 301). Um dem Bilde die nöthige *Helligkeit* zu verschaffen, muß der ihm entsprechende Gegenstand die gehörige

Lichtmenge ins Auge senden; bei zu starkem Lichte zieht sich die Pupille zusammen, und läßt nur einen kleinen Lichtkegel ins Auge gelangen, bei zu schwachem erweitert sie sich, und nimmt einen größeren Lichtkegel auf, doch hat dieses seine Grenzen, und man kann weder bei zu starker, noch bei zu schwacher Beleuchtung hell sehen, aber diese Grenzen liegen sehr weit aus einander. Wenn das Licht von seinem Mittel nicht geschwächt würde, so müßten leuchtende und beleuchtete Körper in jeder Entfernung gleich hell erscheinen. Bei größerer Entfernung kommen zwar von jedem Puncte weniger Strahlen ins Auge, aber die Bilder der einzelnen physischen Puncte rücken einander in demselben Maße näher, und das ganze Bild des Objectes wird in demselben Verhältnisse kleiner. Die Abnahme des Glanzes leuchtender Körper bei wachsender Entfernung rührt daher bloß von der absorbirenden Kraft des Mittels her.

Man kann beim Lichte einer Wachskerze und bei dem vielmal stärkeren Sonnenlichte, ja sogar bei dem viel schwächeren Lichte des Vollmondes lesen. Augen, die an sparsames Licht gewöhnt sind, sehen selbst dort noch hell genug, wo es für den im vollen Tageslichte Wandelnden dunkle Nacht ist. Ein mechanischer Druck auf das Auge steigert dessen Empfindlichkeit für das Licht, und scheint in vielen Fällen selbst eine Lichtempfindung hervorzubringen, wie die von Purkinje und Quetelet beobachteten Farbenerscheinungen zeigen, welche man wahrnimmt, wenn man ein oder beide geschlossene Augen drückt. Geschieht letzteres nach entgegengesetzten Richtungen, so ergeben sich ziemlich complicirte Visionen (Pogg. Ann. 31. 494) Eigenthümliche Erscheinungen bemerkt man, wenn die Augen, nachdem sie im Dunkeln waren, plötzlich von starkem durch die Augenlider eindringenden Lichte getroffen werden. Sie wurden zuerst von Miß M. Griffiths beschrieben (Pogg. Ann. 3 477). Die von Peclet und nach ihm von Aimé untersuchten zahlreichen schwarzen Striche, die man bei dem Hindurchsehen durch eine enge Spalte bemerkt (welche nicht mit den Beugungserscheinungen, die eine solche Spalte veranlaßt, zu verwechseln sind), und ähnliche Phänomene rühren theils von ungleichförmiger Anhäufung der Feuchtigkeit auf der Oberfläche des Auges, theils von sehr kleinen minder durchsichtigen Pünktchen im Innern des Auges her. (Pogg. Ann. 3. 479; 4. 577.)

331. Es ist nicht zu bezweifeln, daß die Netzhaut allein der wahre Sitz der dem Sehen entsprechenden Nervenaffection sey, doch beschränkt sich die Wirkung des Lichtes nicht auf die unmittelbar getroffene Stelle, sondern erstreckt sich auch auf die nächste Umgebung derselben, etwa so, wie ein Druck auf ein gespanntes Tuch rings um die gedrückte Stelle eine Einbiegung erzeugt (Pogg. Ann. 27. 490, 29. 339; Zeitschr. n. F. 2. 236). Hierauf beruht das Phänomen der sogenannten Irradiation, welches darin besteht, daß ein schmaler heller Gegenstand auf einem dunklen Grunde merklich breiter erscheint. Es ist klar, daß bei unveränderlicher Einrichtung des Auges nur von Gegenständen, die eine gewisse Entfernung vom Auge haben, das Bild auf die Netzhaut fallen kann. Da aber die Erfahrung lehrt, daß man Gegenstände von verschiedener Entfernung deutlich sieht; so muß in der Einrichtung des Auges etwas veränderlich seyn. Ob dieses die Lage oder Gestalt der

Linse oder der Netzhaut sey, ist nicht entschieden; wahrscheinlich ist es aber, daß die Linse durch Zusammenziehen der an der Kapsel angehefteten Muskel converer gemacht, und der Entfernung der Gegenstände angepaßt werden kann. Man empfindet es auch, es ändere sich im Auge etwas, wenn man es von einem nahen Objecte auf ein ferneres richtet (Brewster in Pogg. Ann. 2. 271). Ein Theil dieser Veränderung hängt von unserem Willen, ein anderer aber nur vom Lichteindrucke ab. Doch hat diese Richtkraft des Auges ihre Grenzen, und das Auge vermag im gesunden Zustande nicht das Bild eines Gegenstandes, der ihm näher steht als 8 — 10 Zoll, auf die Netzhaut zu bringen. Darum sieht man auch nur jene Gegenstände, die außerhalb dieser Grenze liegen, mit gehöriger Deutlichkeit. An dieser Grenze selbst ist das Bild deutlich, und zeigt sich am hellsten und größten, darum heißt die Entfernung von 8 — 10 Z. die Entfernung des deutlichen Sehens (Sehweite). Man sieht demnach in jeder Entfernung, die nicht kleiner ist als 8 — 10 Z., Objecte deutlich, und nimmt darum nicht selten an, daß zum deutlichen Sehen parallele Strahlen erfordert werden, wiewohl diese Annahme nicht ganz richtig ist, aber sie gewährt in der Rechnung manche Vortheile. Bei einigen Menschen ist die Entfernung des deutlichen Sehens bedeutend kleiner, bei andern viel größer als die vorhin angegebene. Erstere heißen kurzsichtige, letztere weitsichtige: jener Fehler läßt sich durch den Gebrauch von Hohllinsen, dieser durch den Gebrauch von Converlinsen verbessern, weil jene ein Bild geben, das minder vom Auge entfernt ist, als der Gegenstand; diese hingegen eines, dessen Entfernung die des Gegenstandes übertrifft. Unter Wasser ist jedes Menschenauge sehr weitsichtig, und kann nur mittelst einer sehr converen Linse deutlich sehen. Ohne diese vernimmt es von einem Gegenstande nur einen Lichtschein, aber kein Bild. (Muncke in Pogg. Ann. 2. 257.)

Nur die vorhandene Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit deutet an, daß man Brillen brauchen soll, nicht etwa der Umstand, daß man mit Brillen heller sieht, als ohne sie. Daher werden auch für ein Auge nicht jene Brillen passen, mit denen es am schärfsten sieht, sondern die schwächsten von allen denen, mit welchen es in der Sehweite deutlich sieht. Jede Brille soll genau sphärische Krümmungen haben, darum haben auch nicht Brillen von jedem Künstler gleichen Werth. Oft muß die Brille für ein Auge stärker seyn, als für das andere; manches Auge braucht gar cylindrische Brillen (Zeitschr. 3. 452). Gewöhnliche Brillen aus farbigem Glase sind an den dickeren Stellen dunkler als an den dünneren; isochromatische Brillen (aus weißem Glase mit daran gekitteten blauen, allenthalben gleich dicken Schalen) sind sehr zu empfehlen. Periscopische Brillen (aus Menisken) haben zwar den Vortheil, daß man durch sie auch die seitwärts gelegenen Objecte noch deutlich sieht, spiegeln aber zu sehr. Jede Brille soll möglichst nahe am Auge seyn; darum die Sattelbrillen nichts taugen. Beim Auswählen einer Brille soll man stets mit schwächeren anfangen und zu den stärkeren aufsteigen, nicht aber umgekehrt, und man darf nicht vergessen, daß sich das Auge schnell nach der gebrauchten Brille richte, und das Urtheil über die Zweckmäßigkeit einer solchen beirre. Wer daher nicht nach der zweiten Wahl die richtige Brille gefunden hat,

fahre nicht fort, noch weitere Auswahl zu treffen, sondern gönne dem Auge einige Ruhe. Betrachtet man eine in ein undurchsichtiges Plättchen gebohrte kleine Oeffnung oder eingeschnittene schmale Spalte durch zwei in einer andern dicht vor das Auge gehaltenen Platte angebrachte, einander sehr nahe Oeffnungen oder Spalten, so erscheint erstere einfach oder doppelt, je nachdem sie sich in der Sehweite des Auges befindet oder nicht. Im letzteren Falle vereinigen sich nämlich die von ihr ausgehenden, durch beide Oeffnungen in das Auge eindringenden Lichtbündel nicht auf der Netzhaut zu Einem Bilde, sondern diese wird an zwei getrennten Stellen afficirt. Hierauf gründen sich eigene Instrumente (Brillenmesser, Optometer), welche schnell die Brennweite der dem Auge angemessenen Brille angeben. (Stampfer in Jahrb. des k. k. polyt. Inst, B. 17; Adams Anweisung zur Erhaltung des Gesichtes 2c., a. d. Engl. Gotha, 1794.)

332. Wenn das Bild auf der Netzhaut noch deutlich wahrgenommen werden soll, so muß es eine gewisse Größe haben, die von der Beschaffenheit des Auges und von der Beleuchtung des Gegenstandes abhängt. Für ein gewöhnliches Auge muß das Bild eines mäßig erleuchteten Objectes $^1/_{1000}$ Z. lang oder breit seyn, mithin unter $^1/_2$ Min. erscheinen; einen glänzenden Silberdraht sieht man aber noch unter einem Winkel von 2 Sec., und selbstleuchtende Gegenstände noch, wenn dieser Winkel nicht mehr meßbar ist, doch bleibt zuletzt von ihnen nur mehr ein Lichtschein übrig. Plateau sah Weiß im Sonnenlichte bei 12″, Gelb bei 13″, Roth bei 23″, Blau bei 26″, im Schatten war jeder Winkel etwa um $^1/_3$ größer. Jeder Lichteindruck braucht sowohl zu seiner vollkommenen Entwicklung, als zum völligen Verschwinden eine gewisse Zeit. Diese richtet sich, Plateau's Versuchen zu Folge, bei übrigens gleichen Umständen nach der Farbe. Den dauerndsten und stärksten Eindruck hinterläßt Weiß, dann folgen in der Ordnung: Gelb, Roth, Blau. Die mittlere Dauer aller Farben, vom Momente der größten Stärke an, bis zum völligen Verschwinden beträgt 0″,34. Folgen Eindrücke sehr schnell auf einander, so fließen deren mehrere in einen zusammen, und das Auge erhält von allen nur einen einzigen, continuirlichen Eindruck, es verschwinden die zwischen den einzelnen Affectionen liegenden Pausen, und das Auge erhält eine Reihe zusammenhängender Eindrücke. Geht der Eindruck zu schnell vorüber, so nimmt man nichts davon wahr. Darum sieht man eine abgeschossene Flintenkugel nicht in ihrem Fluge. Nach Schmidt verschwinden die Umrisse eines 28$^1/_2$ Z. vom Auge entfernten Körpers, wenn er in einer Secunde einen Bogen von 198° 51′ und der Gegenstand selbst, wenn er 265° 8′ zurücklegt. Das Deutlichsehen außer der Augenaxe liegender Puncte wird durch die große Beweglichkeit des Augapfels, vermöge welcher mehrere Puncte schnell hinter einander in diese Axe gebracht werden, und durch die den Eindruck überdauernde Wirkung des Lichtes möglich.

333. Von der Größe des Bildes im Auge hängt die scheinbare Größe der auf einmal übersehenen Gegenstände ab; es muß daher alles, was jene ändert, auch eine entsprechende Aenderung in dieser hervorbringen. Nach den Ergebnissen directer an Menschen- und Thier-

augen angestellten Beobachtungen schneiden sich die geraden Linien, welche verschiedene Puncte, die zugleich gesehen werden, mit ihren Bildern auf der Netzhaut verbinden, in einem und demselben Puncte im Innern des Auges. Diesen Punct kann man nach Volkmann den Kreuzungspunct, jene geraden Linien aber Richtungslinien nennen. Ist daher AB (Fig. 340) ein leuchtender Gegenstand, DE ein Stück der Netzhaut, ba das Bild des Gegenstandes auf ihr, so sind die Geraden Aa, Bb die Richtungslinien für die Puncte A und B, und deren Durchschnittspunct C ist der Kreuzungspunct. Kennt man die Lage desselben im Auge, so geben die von den äußersten Puncten A und B irgend eines Gegenstandes durch ihn gehenden Strahlen die Größe des Bildes ba, welches im Auge entsteht. Da diese offenbar von der Größe des Winkels ACB abhängt, so kann man letzteren mit Recht den Gesichtswinkel (angulus opticus) nennen, und als das Maß der scheinbaren Größe eines Gegenstandes ansehen. Er wird aber selbst durch die absolute Größe des Gegenstandes und durch seine Entfernung vom Auge bestimmt, und ist desto größer, je größer jene, und je kleiner diese ist. Die scheinbare Größe eines Gegenstandes, den man nicht auf einmal übersieht, wird theils durch die Größe seiner auf einmal übersehenen Theile, theils durch den Weg bestimmt, den das Auge durchlaufen muß, um alle seine Theile hinter einander zu übersehen.

Der Kreuzungspunct fällt nach Volkmann (Pogg. Ann. 37, 342; 45. 207) hinter die Krystalllinse nahe in die Mitte des Augapfels; um ihn dreht sich das Auge bei allen seinen Bewegungen, weßhalb er ihn auch den Drehpunct nennt. Zwei leuchtende Puncte, deren Richtungslinien in dieselbe Gerade fallen, decken sich. Nennt man Richtungsstrahl eine durch zwei Puncte, welche dem Auge sich zu decken scheinen, gezogene Gerade, so sind die Richtungslinien und Richtungsstrahlen derselben identisch, so daß beide Benennungen auch für einen Punct gemeinschaftlich gebraucht werden dürfen. Der Richtungsstrahl eines Punctes (wenn er sich unter den in das Auge eindringenden Strahlen befindet) trifft dem gemäß, ungeachtet der Brechungen, welche er im Auge erleidet, zuletzt doch jene Stelle der Netzhaut, wohin er gekommen wäre, wenn er ungebrochen durch das Auge hätte gehen können. Gegen diese Behauptungen Volkmann's sind jedoch von mehreren Seiten Einwendungen gemacht worden (Mile in Pogg. Ann. 42. 37 und 235; Knochenhauer ebend. 46. 248). Es scheint sonach der Kreuzungspunct der Richtungslinien des Sehens entfernter von der Netzhaut als der Mittelpunct des Auges zu liegen, und vom Drehpuncte des Auges verschieden zu seyn.

334. Das Bild der Gegenstände erscheint zwar im Auge, aber wir versetzen es auf eine uns unbegreifliche Weise außer uns in eine Entfernung von uns, die nicht durch unmittelbare Empfindung gegeben ist, weil sie nicht von dem Wege abhängt, den ein Strahl gemacht hat, bevor er in das Auge kommt. Alles, was wir über Entfernung eines Gegenstandes von uns wissen, ist Folge eines Urtheils, das durch Empfindungen, die sich mit der Entfernung der Gegenstände vom Auge ändern, bestimmt wird. Auf diese Empfindungen haben Einfluß:

1) Der Winkel, den die Augenaxen mit einander machen; d. h. die Linien, welche von einem leuchtenden Puncte aus durch die Mitte beider Augenöffnungen gehen. Wenn wir die Entfernungen eines Gegenstandes beurtheilen wollen, richten wir beide Augenaxen (das Schielen ausgenommen) auf einen Punct desselben; je näher dieser liegt, desto größer ist der Winkel der Augenaxen und desto mehr Anstrengung kostet es die Muskeln, diese Richtung herzustellen. Es steht daher die Empfindung dieser Anstrengung mit der Entfernung des leuchtenden Punctes in Verbindung. Dieses Beurtheilungsmittel fehlt dem ganz, der nur mit einem Auge auf einen Gegenstand sieht, darum irrt er sich häufiger in seinem Urtheile, wie folgender Versuch zeigt: Hängt man einen kleinen Ring an einem dünnen Faden frei auf, und stellt sich so, daß man seine Oeffnung nicht sieht, nimmt endlich einen Stab von ungefähr drei Fuß Länge zur Hand, der an einem Ende unter einem rechten Winkel gebogen ist; so wird man mit diesem Haken die Oeffnung des Ringes meistens verfehlen, wenn man bloß mit einem Auge darauf sieht, während man den Ring leicht anfaßt, wenn man beide Augen zu Hilfe nimmt. 2) Die Stärke der Beleuchtung eines Objectes. Nimmt diese ab, so scheint seine Entfernung von uns zu wachsen. 3) Die Menge der zwischen dem Auge und dem Gegenstande liegenden Dinge. 4) Die scheinbare Größe. 5) Seine Lage gegen die Dinge von bekannter Entfernung. Je mehr solche Empfindungen auf unser Urtheil über die Entfernung Einfluß haben, desto richtiger wird es ausfallen. Bei nahen Gegenständen helfen fast alle erwähnten Puncte zusammen, und gewähren uns eine große Sicherheit des Urtheils; je größer die Entfernung wird, desto mehr sieht man sich dieser Hilfsmittel beraubt, bis endlich bei einer Entfernung, welche eine gewisse Grenze übersteigt, nichts übrig bleibt, auf das wir unser Urtheil stützen könnten. — Anders verhält es sich mit der scheinbaren Entfernung der auf einmal gesehenen Gegenstände von einander. Diese wird bloß durch den Abstand der Bilder dieser Gegenstände im Auge bestimmt, und verhält sich daher wie die scheinbare Größe desselben. Darum können wir die Entfernung solcher Objecte von einander, die in der Richtung der Augenaxen liegen, nicht beurtheilen. Bei der Betrachtung eines Gegenstandes mit beiden auf gehörige Weise gegen ihn gekehrten Augen fallen die Bilder auf der Netzhaut eines jeden an Stellen, und nehmen Gestalten an, welche von der Entfernung und Lage des Gegenstandes gegen die Augen abhängen; eine durch den Gebrauch des Gesichtsorganes begründete Fertigkeit in der Beurtheilung seiner Ueberlieferungen leitet uns an, die durch beide Bilder hervorgerufenen Eindrücke auf Einen Gegenstand zu beziehen, daher wir in der Regel die Gegenstände mit beiden Augen nur einfach sehen. Wenn man aber die Augen mittelst der dieselben bewegenden Muskeln verdreht, wie es beim willkürlichen Schielen der Fall ist, oder ein Auge mit dem Finger seitwärts drückt, und dadurch bewirkt, daß die zwei Bilder in beiden Augen nicht mehr auf

die gehörigen Stellen der Netzhaut fallen, so sieht man das Object doppelt. (Zeitschr. 5. 117.)

335. Mit der scheinbaren Größe eines Dinges ist uns zugleich der Umriß seiner uns zugekehrten Fläche, und mit der Entfernung jedes einzelnen Punctes derselben auch zugleich die räumliche Beschaffenheit dieser Fläche gegeben, daher durch beides dessen Gestalt. Nicht selten ist uns zur Beurtheilung der Gestalt eines Körpers innerhalb seiner Umrisse die Vertheilung des Lichtes auf ihm und die Lage seines Schattens behülflich. An einem converen Körper ist immer ein Punct leuchtender als die anderen (point brillant), und der Schatten eines solchen liegt der Lichtquelle gegenüber; bei einem concaven liegen die Lichtquelle und der Schatten auf derselben Seite. Die Beschaffenheit des Bildes auf der Netzhaut, welches gleichsam eine Projection des Gegenstandes auf die hintere Wand des Auges darstellt, und bei einem erhabenen Gegenstande anders sich gestaltet als bei einem hohlen von ähnlicher Figur und Stellung, liefert an sich schon einen Anhaltspunct zur Beurtheilung der Converität und Concavität. Bei einem Gegenstande, der in so großer Entfernung gesehen wird, daß die auf ihn gerichteten Augenaren als parallel angesehen werden können, ist die perspectivische Ansicht für jedes Auge dieselbe, und man sieht ihn demnach mit beiden Augen so, wie mit einem einzigen, auch wird da zwischen einer treuen perspectivischen Zeichnung eines solchen und ihm selbst kein Unterschied Statt finden. Diese Gleichheit der Erscheinung für beide Augen verschwindet aber, sobald der Gegenstand den Augen so nahe steht, daß die Aren der auf ihn gerichteten Augen nicht mehr als parallel angesehen werden können, und es deckt nun der Gegenstand nicht bloß für jedes Auge einen anderen Theil des fernen Gesichtsfeldes, sondern er bietet auch jedem Auge eine andere Ansicht dar. Das gleichzeitige Daseyn zweier solcher verschiedenen Bilder macht, daß man ein Object mit drei Dimensionen wahrnimmt. Welche wichtigen Dienste bei nahen Gegenständen in dieser Hinsicht der Gebrauch beider Augen leistet, weiset das von Wheatstone erfundene Stereoskop, mittelst dessen zwei verschiedene perspectivische Zeichnungen den Eindruck eines einzigen Körpers hervorbringen.

Das Stereoskop besteht aus einem an der Rückseite offenen Kasten ABCD (Fig. 341), an dessen Vorderwand zwei Oeffnungen O, O′ für beide Augen angebracht sind, hinter welchen zwei gegen einander rechtwinklig geneigte ebene Spiegel EF, EG aufgestellt sind, so daß die Halbirungslinie des Winkels FEG die Wand AC in der Mitte zwischen O und O′ senkrecht schneidet, daher die Spiegelfläche EF mit AB und AC und eben so EG mit CD und AC einen Winkel von 45° bildet. Eine auf AB angebrachte Zeichnung wird mittelst des Spiegels EF nur von dem Auge O, und eine Zeichnung auf CD mittelst des Spiegels EG nur von dem Auge O′ wahrgenommen. Durch schickliche Stellung der Zeichnungen und der Spiegelkante E gegen AC, bringt man es leicht dahin, daß beide Bilder an derselben Stelle H gesehen werden. Entsprechen die an AB und CD aufgestellten Zeichnungen den Ansichten eines bald mit dem einen bald mit dem anderen Auge betrachteten erhabenen oder hohlen Gegenstandes, so wird der-

selbe durch das Zusammenwirken beider Zeichnungen auf das täuschendste dargestellt. So sieht man, wenn man M auf AB, m auf CD setzt, den kleineren Kreis mit dem größeren concentrisch, und ersteren vor oder hinter letzterem schwebend, je nachdem die Stellen Xx gegen AC gekehrt sind oder die entgegengesetzte Lage haben. Unter denselben Umständen stellen die Zeichnungen N, n eine erhabene oder hohle Pyramide dar. (Pogg Ann. 47. 625. Ergänzungsbd. 1. 1.)

336. Die Lage, welche die Bilder mehrerer Gegenstände im Auge zu einander haben, gibt die scheinbare Lage dieser Gegenstände selbst. Wiewohl das Bild gegen seinen Gegenstand verkehrt erscheint, so haben doch die zugleich gesehenen Bilder unter einander dieselbe Lage, wie die ihnen entsprechenden Dinge außer dem Auge, und erscheinen uns demnach auch in natürlicher Lage. Daß sie aufrecht erscheinen, hat den Grund in der Art, wie das Licht die Netzhaut afficirt. Worin die Natur des Lichtes auch immer bestehen mag, so muß doch die Affection der Netzhaut durch einen Stoß erfolgen, der sich in das Innere derselben in unveränderter Richtung fortpflanzt. Der Stoß der Strahlen, die vom untersten Puncte eines Objectes kommen, nimmt die Richtung durch diesen Punct von unten nach oben; diejenigen Strahlen, welche vom obersten Puncte ins Auge kommen, zielen von oben nach unten, und es ist daher dem gewöhnlichen Gange unserer Empfindung gemäß, das als unteres zu erkennen, das von unten aus; jenes als oberes, das von oben aus auf das Auge wirkt.

Hält man vor das Auge ein Kartenblatt mit einer kleinen Oeffnung, und zwischen die Oeffnung und das Auge eine Stecknadel, so erblickt man dieselbe außerhalb des Blattes und aus dem angegebenen Grunde in verkehrter Lage, obgleich das Schattenbild der Nadel auf der Netzhaut eine aufrechte Lage hat.

337. Die Bewegung der Bilder im Auge liefert uns den Stoff zur Beurtheilung der Bewegung. Da aber die Bewegung des Bildes nicht bloß von der des Gegenstandes abhängt, sondern auch von der des Auges; so wird man die Frage, welcher Körper eigentlich der bewegte sey, nicht durch den Sinnenschein beantworten könne. Die Bewegung selbst ist nur wahrnehmbar, wenn der in einer Secunde zurückgelegte Weg bemerkbar groß ist. Nach Schmidt darf der in einer Secunde zurückgelegte Bogen in der deutlichen Sehweite nicht unter $2^1/_4$ Minute betragen.

338. Farbe ist Gegenstand der Empfindung und nur in so ferne vorhanden, als es ein empfindendes Subject gibt. Dieselbe hängt daher stets nur zum Theil vom Gegenstande ab, der das Licht ins Auge sendet, zum Theil aber vom sehenden Subjecte. (Manchen Personen mangelt die Fähigkeit, gewisse Farben, besonders Farbenabstufungen, zu unterscheiden. Eine wissenschaftliche Zusammenstellung merkwürdiger Fälle hievon gibt A. Seebeck in Pogg. Ann. 42. 177.) In so ferne gibt es also keine rein objective Farbe. Doch lehrt die Erfahrung, daß Gegenstände in der Regel so lange von derselben Farbe erscheinen, als sie Licht von derselben Brechbarkeit ins Auge senden,

zum Beweise, daß diese Brechbarkeit die Farbe hauptsächlich bestimme. Ferner weiß man, daß ein Körper, welcher Strahlen von allen Graden der Brechbarkeit in gehörigem Verhältnisse ins Auge sendet, weiß erscheint, hingegen schwarz, wenn er von keiner Strahlengattung so viele dahin schickt, daß ein gehöriger Eindruck gemacht werden kann. Körper, die nicht alle Strahlengattungen, sondern nur einige derselben dem Auge zusenden, erscheinen von der Farbe, die aus ihrem Gesammteindrucke hervorgeht. Fast alle Farben entstehen auf diese Weise durch Zusammensetzung der Eindrücke mehrerer verschiedenfarbigen Strahlen, weil fast kein Körper nur eine einzige Strahlengattung ins Auge sendet, sondern immer mehrere derselben dahin gelangen. Solche Zusammensetzungen verschiedener Farbeneindrücke zu einer einzigen Farbe können Statt finden, wenn verschiedenfarbige Strahlen auf einmal oder schnell hinter einander ins Auge treten; doch erzeugen sie selbst bei einerlei Beschaffenheit der Strahlen nicht in beiden Fällen dieselbe Farbe. Bemalt man mit einem gehörigen Gemenge von Berlinerblau und Gumigutte ein weißes Papier, so erscheint dieses schön grün. Theilt man nun eine Kreisscheibe in zwei Sectoren, bemalt einen mit Gumigutte, den anderen mit Berlinerblau recht stark, und dreht dann die Scheibe, so erhält man eine andere Farbe, die selbst wieder von der Schnelligkeit der Rotation, also von der Folge und der Entwicklung der auf einander folgenden Eindrücke abhängt. Dreht man nämlich nicht so schnell, daß ein gleichförmiger Farbenton hervorgeht, so erscheint auf der Scheibe ein lebhaftes Weiß und Orange, wird aber so schnell gedreht, daß man die Scheibe gleichförmig gefärbt sieht, so erscheint dieselbe vollkommen grau, und nur, wenn man das Blau sehr blaß aufträgt, kann man einen Stich ins Grüne hervorbringen. Aehnliche Erscheinungen erhält man mit anderen Pigmenten. (Pogg. Ann. 20. 328.) Zur Hervorbringung solcher Erscheinungen ist der von Busolt angegebene Farbenkreisel vorzüglich brauchbar. (Pogg. Ann. 32. 656.)

Farbe ist von dem, was man Farbestoff nennt, wesentlich verschieden, wiewohl man oft beide mit dem Worte Farbe bezeichnet. Erstere ist eine eigenthümliche Empfindung, letzterer ein Materiale, welches die diese Empfindung erregenden Strahlen dem Auge zusendet. Einen Körper färben heißt demnach, ihn mit einem Stoffe überziehen oder seine chemische Natur dahin abändern, daß er bestimmte Strahlen reflectirt.

339. Ob eine Farbe für sich, oder nur im Vergleiche mit einer anderen, entweder vorliegenden oder im Gedächtniß behaltenen, bestimmt werden kann (etwa so, wie man die Höhe eines Tones nur im Vergleiche mit einem anderen beurtheilen kann), darüber haben sich die Physiker bis jetzt noch nicht bestimmt ausgesprochen; doch ist letzteres das wahrscheinlichere. In vielen Fällen tritt bei der Bestimmung einer Farbe der subjective Einfluß des Sehenden gar sehr hervor. Es muß nämlich jeder Lichteindruck eine, wenn auch unmerklich kurze Zeit dauern, um im Auge jene Stärke zu erlangen, deren er fähig ist,

und diese Zeit ist sogar für verschiedene Farben verschieden. Wirken demnach mehrere farbige Strahlen gleichzeitig aber nur schnell vorübergehend auf das Auge, so wird jene Farbe das Uebergewicht erhalten und sich mehr oder allein geltend machen, deren Eindruck in dieser Zeit zur größeren Entwicklung gelangte. Ferner dauert der Lichteindruck, dem das Auge eine Weile ausgesetzt war, noch fort, wenn auch die objective Einwirkung bereits aufgehört hat, und auch dieses Ueberdauern des Eindruckes ist für verschiedene Farben verschieden. Demnach muß, wenn gleichzeitig verschiedenfarbiges Licht auf das Auge gewirkt hat, der Eindruck der einen Farbe nach jenem der andern verlöschen, und demnach die entsprechende Farbe mit einem Uebergang in die complementäre ausklingen. Ein dauernder oder starker Lichteindruck macht das Auge eine große Zeit lang für einen nachfolgenden derselben Art unempfindlich. Ein so für eine bestimmte Farbe unempfindlich gemachtes Auge empfindet demnach nur jene Einwirkung, die nach Hinweglassung jener Farbe übrig bleibt. Endlich empfindet das Auge von zwei gleichzeitigen ungleich starken Einwirkungen nur die stärkere und diese dauert fort, wenn auch die Quelle der mit ihr contrastirenden bereits unterdrückt ist. Die von den angeführten Umständen abhängenden Farben heißen daher mit Recht **subjective**. **Goethe** nennt sie **physiologische**, Andere heißen sie **zufällige** Farben.

Als Beispiele dieser zwei Erregungsarten subjectiver Farbenerscheinungen mögen folgende dienen: Sieht man eine rothe Schrift auf weißem, von der Sonne wohl beleuchteten Papiere lange unverwandt an, und blickt dann auf eine minder beleuchtete weiße Fläche; so sieht man dieselbe Schrift in grünen Zügen. War die Schrift orange, so sieht man sie auf dem zweiten Papiere blau; war sie gelb, so erscheint sie violett. Die vor den Augen schwebenden Farben, wenn man in die Sonne gesehen hat und dann die Augenlieder schließt u. d. m. gehören hierher. Hier wird das Auge für rothe Strahlen unempfindlich gemacht; kommen dann weiße in dasselbe, so bleibt nur der Eindruck derjenigen übrig, die das Sonnenlicht nach Wegnahme der rothen enthält, nämlich der grünen. Daß dieses die wahre Erklärung dieser subjectiven Farben sey, beweiset der Umstand, daß, wenn man den früher erwähnten Versuch mit einem Auge anstellt und das andere verschlossen hält, beim wechselseitigen Oeffnen des einen oder des andern die subjective Farbe nur in dem wahrgenommen wird, das den längeren Eindruck des Lichtes erlitten hat. Bemalt man den matt geschliffenen gläsernen Schirm einer Lampe an mehreren Stellen mit verschiedenen Farben, und vermindert dann die Flamme bis zum Auslöschen, so sieht man im Augenblicke vor dem gänzlichen Erlöschen von jeder Farbe die complementäre (**Splittgerber** in Pogg. Ann. 49. 587). Man theile eine zum schnellen Rotiren um eine verticale Axe eingerichtete Pappscheibe in mehrere, z. B. 18 concentrische Ringe von gleicher Breite, bemale den innersten Ring ganz schwarz, den nächst folgenden bis auf 20°, den dritten bis auf 30°, die weiß bleiben, und so die folgenden, so daß der letzte Ring ganz weiß belassen wird. Wird nun diese Scheibe rasch gedreht, so sieht man statt der ungleichen Nüancen von Grau, die man glaubt erwarten zu dürfen, jeden Ring mit einer andern Farbe, die selbst wieder wechselt, wenn sich die Geschwindigkeit der Rotation ändert. Hier tritt also die ungleiche Dauer des

Eindrucks verschieden farbiger Strahlen des Weiß deutlich hervor. Bringt man an dem Fensterladen eines verfinsterten Zimmers zwei geräumige Oeffnungen an, stellt dann vor sie einen undurchsichtigen Körper, der von dem durch jede Oeffnung eintretenden Lichte einen Schatten werfen kann; so erhält man auf einer weißen Tafel natürlich zwei Schattenbilder, die grau sind, weil der einem Lichte entsprechende Schatten in den beleuchteten Raum des anderen fällt. Stellt man aber vor die eine Oeffnung ein rothes Glas, so erscheint der ihr zugehörige Schatten von der complementären Farbe des Glases, in unserem Falle grün, während der von der anderen Oeffnung herrührende Schatten die rothe Farbe annimmt. Etwas ähnliches läßt sich mit anderen gefärbten Gläsern bewirken. Die Erklärung fließt aus dem vorhin Gesagten ganz ungezwungen; denn ist z. B. R (Fig. 342) die mit dem rothen Glase bedeckte Oeffnung, A die unbedeckte, weißes Licht gebende, C der undurchsichtige Körper, welcher den Schatten wirft, r der Schattenraum, welcher durch R, und a derjenige, welcher durch A beleuchtet wird; so ist klar, daß in den unbeschatteten Raum b rothes und weißes Licht falle, und da das weiße selbst wieder rothes enthält, so ist das rothe das überwiegende, jedoch wird r mehr roth erscheinen, weil es nur allein rothe Strahlen empfängt. Die rothen Strahlen, welche das in a befindliche weiße Licht enthält, können gar keine Empfindung erregen, und es bleibt nur diejenige Affection übrig, welche das weiße Licht nach Hinwegnahme des rothen Antheils bewirkt. Betrachtet man nachher den grünen Schatten durch ein alles andere Licht abhaltendes geschwärztes Rohr, so erscheint er fortdauernd grün, ohne daß der Contrast mit dem rothen Lichte der Umgebung mitwirkt; allein daraus läßt sich Nichts gegen obige Erklärung folgern, weil die Erscheinung der grünen Farbe nicht Statt findet, wenn man das Rohr vor Anwendung des rothen Glases gegen den Schatten richtet, aber augenblicklich eintritt, wenn man das Rohr beseitiget. Die früher isolirte grüne Farbe dauert auch fort, wenn das rothe Glas weggenommen, ja sogar wenn ein anderes gefärbtes Glas vor die Oeffnung gesetzt wird, aber nach Entfernung des Rohres sieht man im Schatten augenblicklich die dem letzten Glase entsprechende Ergänzungsfarbe (Fechner in Pogg. Ann. 44, 221 u. 513). Die schönen blauen Schatten, welche sich während der Dämmerung in einem durch Kerzenlicht erleuchteten Zimmer zeigen, und vornehmlich auf der gelblich röthlichen Färbung dieses Lichtes beruhen, und viele andere, die man vorzüglich in Goethe's Farbenlehre angegeben findet, gehören hieher, und werden auf gleiche Weise erklärt. Dieselbe Bewandtniß hat es mit den complementär gefärbten Bildern schmaler undurchsichtiger Gegenstände in mit Spiegelfolie belegten Tafeln aus gefärbtem Glase. (Scherffer über zufällige Farben. Wien 1765. Zschokke über gefärbte Schatten. Aarau, 1826. Goethe's Farbenlehre. Plateau in Zeitschr. u. F. 3. 190 und in Pogg. Ann. 32, 543. Osann in Pogg. Ann. 37, 287; 42, 72. Pohlmann ebend. 37, 319. Fechner in Pogg. Ann. 50. 193, 427.)

340. Aus dem Vorhergehenden ist klar, daß das Auge von Objecten, die an Größe, Entfernung, Gestalt verschieden sind, dieselben Eindrücke bekommen kann, wie von solchen, die in diesen Verhältnissen mit einander übereinstimmen und umgekehrt. Baut der Verstand auf diese Eindrücke ohne weitere Untersuchung ein Urtheil, so irrt er, und unterliegt einer optischen Täuschung.

Es ist nicht schwer, den Grund jeder einzelnen optischen Täuschung aufzufinden. Zur Uebung im Erklären folgen hier einige. Täuschungen in Bezug auf Größe und Entfernung: In einer aus parallelen Baumreihen bestehenden Allee convergiren die entfernteren Reihen immer mehr; der Fußboden eines langen Saales scheint sich an den ferneren Stellen zu erhöhen, die Decke aber sich zu senken; eine Thurmspitze neigt sich gegen den Beobachter; durch eine kleine Oeffnung sieht man viele und sehr große Gegenstände; ein Finger vor das Auge gehalten deckt ganze Gebäude, scheint also eben so groß als diese; eigens gezeichnete Bilder (optische Zerrbilder) scheinen verzerrt und in die Länge gezogen, wenn man sie wie ein gewöhnliches Bild ansieht, hingegen recht wohl proportionirt, wenn man sie schief durch ein kleines Loch betrachtet. Auf einem ebenen Papiere scheinen uns gezeichnete Gegenstände eine sehr verschiedene Entfernung zu haben (Panorama). Weiße Gebäude hält man für näher, als sie sind. In großen Ebenen, über Wasser, schätzt man Entfernungen für zu gering. Das Himmelsgewölbe (Firmament) scheint keine Halbkugel, sondern bloß ein Kugelsegment zu seyn. Die Sonne, der Mond, die Sterne scheinen daran angeheftet, und erstere Körper beim Auf- oder Untergehen weit größer, als wenn sie einen hohen Stand haben. Ein Gleiches gilt von den Distanzen der Sterne oder von der scheinbaren Ausdehnung der Sternbilder. Täuschungen in Bezug auf Gestalt und Bewegung: Der Mond, die Sonne erscheinen als Scheiben. Eine mit Kerzenlicht beleuchtete erhabene Fläche durch ein optisches Instrument, das ein verkehrtes Bild gibt, angesehen, erscheint als Höhlung, und eine Höhlung unter denselben Umständen als Erhabenheit. Eine weit entfernte Pyramide erscheint als Kegel, ein Prisma als Cylinder. Die Sonne scheint auf- und unterzugehen; sieht man von einer Brücke längere Zeit in fließendes Wasser hinab, so scheint die Brücke stromaufwärts zu gehen; einem Schiffenden scheinen die am Ufer befindlichen Gegenstände sich zu bewegen. Schüttelt man den Kopf schnell, während man auf ein Object hinsieht, so sieht man dieses zittern. Eine glühende, schnell im Kreise bewegte Kohle erscheint als glühender Reif. Zeichnet man auf eine Seite einer papierenen Scheibe einen Käfig, auf die andere einen Vogel, und dreht die Scheibe schnell um eine in ihrer Ebene liegende Axe, so glaubt man den Vogel im Käfig zu sehen (Thaumatrop, *trompe d'oeil*). Sieht man durch die Zwischenräume eines Gitters auf die Speichen eines schnell vorbei rollenden Wagenrades, so sieht man das Rad nicht sich drehen, sondern statt dessen unbewegliche Curven auf der Radfläche. (Zum Behufe der Erklärung dieser Erscheinung muß man sich das Gitter im Fortschreiten und das Rad bloß im Drehen, aber nicht zugleich im Fortschreiten begriffen denken, und sich anfangs nur eine Gitteröffnung und eine Speiche vorstellen. Diese beiden Linien schneiden sich bei ihrer Bewegung in einer Reihe von Puncten, welche die gedachte Curve geben. Sind diese beiden Bewegungen gleichförmig, so wiederholt sich dieselbe Erscheinung, so oft Speiche und Oeffnung in dieselbe Lage zurückkehren, und macht, daß diese Curve unbeweglich erscheint.) Läßt man einen geschwärzten Kreisel vor einem Kerzenlichte oder im Sonnenscheine auf weißem Papier spielen, so sieht man an der Stelle, wo sich die Scheibe des Kreisels und ihre Schatten decken, feststehende besonders gekrümmte Linien. Setzt man zwei parallele Scheiben mit zahnartigen Ausschnitten in Bewegung, und sieht so auf sie hin, daß man beide zugleich erblickt; so bemerkt man an der Stelle der Zähne einen gleichförmig erleuchteten Streifen, scheinen sich

aber die Räder zu decken, so sieht man die Zähne ruhig und wie in einem Nebelschleier. Versieht man, wie es bei den von Stampfer erfundenen stroboskopischen Scheiben der Fall ist, eine Pappscheibe gegen ihren Umfang hin mit einer großen Anzahl rechteckiger Oeffnungen, und bemalt eine ihrer Flächen mit verschiedenen Figuren, als Thier- und Menschengestalten, Maschinentheilen ɩc., die eine zusammenhängende Bewegung vorstellen, und läßt dann die Scheibe vor einem Planspiegel schnell kreisen, während man durch deren Löcher in den Spiegel sieht, so erblickt man darin jene Zeichnungen in der zusammenhängenden Bewegung, welche ihre einzelnen von einander getrennten Theile vorstellen, die bloß periodisch (drehend oder oscillirend) oder auch progressiv ist, je nachdem die in verschiedenen Stellungen verzeichneten Figuren gegen die Löcher gleichgestellt sind, oder deren Abstände von den Löchern variiren. Auf ähnlichen Gründen beruht auch Plateau's Phantasmaskop und Horner's Dädaleum. (Pogg. Ann. 5. 93; Zeitschr. 10. 80; 22. 601; 32. 636 u. 650; *Annal. de Ch.* 53. 304.) Täuschungen in Bezug auf Farbe: Eine Scheibe, die auf einer Seite zur Hälfte blau, zur Hälfte gelb bemalt ist, erscheint ganz grün, wenn man sie schnell um eine auf ihrer Ebene senkrechte Axe dreht. Eben so erscheint sie orange, wenn man sie halb gelb und halb roth malt. Sieht man auf einen weit entfernten Gegenstand hin, hält ein Kerzenlicht nahe an ein Auge zur rechten oder linken Seite, und bringt dann einen Streifen weißes Papier vor dasselbe, so erscheint dieser doppelt, und zwar wird ein Bild grün, das andere roth gesehen. Viele Täuschungen beruhen auf einer krankhaften Körperbeschaffenheit. So sieht z. B. der Gelbsüchtige alles gelb. Daß es Menschen gibt, denen die Fähigkeit mangelt, gewisse Farben zu unterscheiden, wurde bereits oben (338) angeführt. Es soll sogar Menschen geben, die in Folge einer abnormen Beschaffenheit der Augen alles verkehrt, und andere, die alles doppelt sehen. (Zeitschr. 2. 247; 4. 378; 6. 232.)

Zehntes Kapitel.

Optische Instrumente.

341. In so fern man die Lehre vom Lichte als objectiven Grund des Sehens im Allgemeinen mit der Benennung Optik bezeichnet, kann wohl jeder Apparat, welcher auf den optischen Eigenschaften des Lichtes beruht, ein optisches Instrument genannt werden. Indessen beschränkt der Sprachgebrauch in der Regel letztere Benennung auf jene Vorrichtungen, mittelst welcher ein Object, das dem freien Auge entweder wegen zu großer Entfernung, oder wegen zu geringer Ausdehnung unter einem für das deutliche Sehen zu kleinem Gesichtswinkel erscheint, oder welches man gewisser Zwecke wegen in einer andern Lage zu sehen wünscht, größer und daher auch deutlicher, oder in der erforderlichen Lage dargestellt werden kann. Zur Betrachtung naher, aber kleiner Gegenstände dienen die Mikroskope; für ferne Gegenstände gebraucht man Fernröhre oder Teleskope; in einer zum Nachzeichnen bequemen Lage zeigen sich die Gegenstände mittelst der Camera lucida, Camera obscura u. dgl. Die Haupt-

bestandtheile der optischen Instrumente sind Linsengläser, mitunter werden auch Spiegel gebraucht. Ein Instrument, welches bloß aus Linsen gebildet ist, heißt ein dioptrisches; kommen aber auch Spiegel dabei in Anwendung, so heißt es ein katoptrisches Instrument.

342. Die Camera lucida besteht aus einem Glasprisma ABDC (Fig. 343), welches man mit den gehörigen Winkeln dadurch erhält, daß man mit dem Halbmesser AB den Quadranten AD beschreibt, ihn in C in zwei gleiche Theile theilt und die Sehnen AC und CD zieht. Das Viereck ABDC gibt dann den senkrechten Durchschnitt des gläsernen Prisma's, das hinreichend groß ist, wenn die Höhe BA = $^1/_2$ Zoll und die Länge 1 Zoll beträgt. Die beim Gebrauche wagrechte Fläche AB wird mit einer geschwärzten Platte bedeckt, die einen ganz kleinen Ausschnitt hat, um das Licht durchzulassen; das Ganze ist mit einem Postamente versehen; wie Fig. 344 zeigt. Ist S ein leuchtender Gegenstand, der Licht auf BD sendet, so wird davon ein Theil mittelst totaler Reflexion nach AC und von da auf gleiche Weise nach O reflectirt, so daß er in das in O befindliche Auge kommt. Man sieht daher S, nach der Richtung OZ. Befindet sich nun in U ein weißes Papier, so zeigt sich auf demselben eine Projection des Gegenstandes, und da wegen der Kleinheit des Instrumentes auch von dem Papiere Licht ins Auge kommen kann, so läßt sich ein Zeichenstift so lenken, daß er den Umrissen des Bildes folgt. Dieses artige Instrument wurde von Wollaston erfunden.

Amici hat diesem Instrumente folgende sehr zweckmäßige Einrichtung gegeben: ab (Fig. 345) ist ein etwa drei Linien dickes Planglas mit parallelen Wänden, cd ein metallener Planspiegel, der gegen ab um 135° geneigt ist. Sendet nun ein leuchtender Punct S Strahlen auf cd, so werden sie in A reflectirt, gelangen auf B, wo sie eine zweite Reflexion erleiden und ins Auge C kommen. Eben dahin gelangen auch Strahlen vom Puncte D, wo man S sieht, und man kann daher daselbst leicht das Bild von S nachzeichnen. Am einfachsten wird aber dieser Zweck wohl durch das von Sömmering in Anwendung gebrachte kleine Stahlspiegelchen erreicht. Auch eine dünne Glastafel genügt in manchen Fällen, z. B. zum Copiren von Zeichnungen, mittelst welcher man das Bild, und durch welche hindurch man den Zeichenstift auf dem Papiere sieht.

343. Die Camera obscura dient zur Darstellung von Bildern entfernter Gegenstände auf einer undurchsichtigen oder durchsichtigen Tafel, entweder bloß um das Vergnügen des Anblickes eines naturtreuen Bildes zu gewähren, oder zum Behufe des Nachzeichnens, wie auch zu der in der neuesten Zeit erfundenen Photographie, wovon später die Rede seyn wird. Zu ersterem Zwecke genügt oft eine einfache Sammellinse; um dem Bilde eine bequeme Lage zu geben, leitet man das von den Gegenständen kommende Licht mittelst eines ebenen Spiegels in die Linse, oder man gibt den aus der Linse tretenden Strahlen erst mittelst des Spiegels die schickliche Richtung. Damit der der Reinheit des Bildes nachtheilige Einfluß der Abweichung wegen der

Farbenzerstreuung wie auch wegen der Gestalt der Linse vermindert werde, wendet man eine concavconvexe Linse an, welcher man in einiger Entfernung eine Blendung vorsetzt, krümmt auch wohl die Tafel, worauf das Bild fällt. Da es nicht möglich ist, durch eine einzige achromatische Linse auf eine ebene Fläche ein Bild von größerer Ausdehnung hinsichtlich des Gesichtsfeldes, d. h. des Winkels, den die von den äußersten Objecten kommenden Strahlen mit einander machen, mit genügender Schärfe darzustellen, so wendet man, wo es auf Schärfe des Bildes ankommt, nach Angabe des Prof. Petzval in Wien, eine Combination von zwei Crown-Flintglaslinsen an. (Voigtländer in den Verhandlungen des n. öst. Gewerbvereins 5. Heft, S. 72.) Fig. 346 stellt die Einrichtung der Camera obscura dar, wie sie zuweilen auf Gebäuden, welche eine Fernsicht gewähren, vorkommt.

Chevallier ersetzt Linse und Spiegel einer gewöhnlichen dunklen Kammer durch ein Glas, wovon Fig. 347 einen Durchschnitt darstellt, welches an der Fläche AB eben, an der Fläche AC convex, an BC hingegen concav ist. Fallen nun von einem fernen Gegenstande Strahlen auf AC, so werden sie wie in einer Linse gebrochen, und in AB so reflectirt, daß sie durch CB austreten, und in D ein verkehrtes Bild des Gegenstandes geben.

344. Die dioptrischen Mikroskope werden in einfache und zusammengesetzte eingetheilt. Streng genommen ist jede Convexlinse, ihre Brennweite mag wie immer beschaffen seyn, ein einfaches Mikroskop, weil sie von einem Gegenstande, der sich innerhalb ihrer Brennweite befindet, die Strahlen so ins Auge sendet, als kämen sie von einem größeren Objecte her. Man bedient sich solcher Gläser oft zum Lesen, gibt ihnen dann eine große Oeffnung, damit man mit beiden Augen, wiewohl zu ihrem Nachtheile, zugleich durchsehen könne, und eine bedeutende Brennweite, damit die Axen der Strahlenkegel, die von einem leuchtenden Puncte in beide Augen gehen, mit der Axe des Glases keinen zu großen Winkel machen. Man nennt aber vorzugsweise nur solche Convexlinsen einfache Mikroskope, deren Brennweite viel kleiner ist, als die deutliche Sehweite. Beträgt ihre Brennweite einige Zolle, so heißt man sie Loupen. Es sey AB (Fig. 348) ein Gegenstand, der in der Sehweite unter einem zu kleinen Winkel erscheint, als daß er deutlich gesehen werden könnte. Man könnte den Sehwinkel allerdings vergrößern, wenn man AB näher ans Auge rückte, allein dadurch ginge die Deutlichkeit völlig verloren; man wird ihn aber ohne Verlust derselben dem Auge viel näher bringen können, wenn man eine mikroskopische Linse CD zwischen AB und das Auge stellt, durch deren Wirksamkeit die Strahlen von AB so gebrochen werden, als kämen sie von einem vergrößerten Gegenstande A'B' her, welcher sich in der Entfernung des deutlichen Sehens befindet.

345. Man denke sich das Auge sehr nahe an der Linse, und diese von der Art, daß man ihre Dicke vernachläßigen und sich das Auge in ihrem optischen Mittelpuncte O vorstellen kann, ferner sey A'B'

in der Entfernung des deutlichen Sehens mit freiem Auge: so wird die Vergrößerung m, welche die Linse gewährt, offenbar durch den Quotienten $\frac{A'B'}{AB}$ gemessen. Aber es ist

$A'B' : AB = OB' : OB$ oder $\frac{A'B'}{AB} = \frac{OB'}{OB}$, mithin $m = \frac{OB'}{OB}$

Zwischen OB, der Entfernung des Gegenstandes von der Linse; OB', der Entfernung des Bildes von derselben und der Brennweite p der Linse, findet die in 259 abgeleitete Gleichung (C) Statt. Da aber hier OB' eine in Bezug auf den bei der Ableitung genannter Gleichung angenommenen Ort des Bildes entgegengesetzte Lage hat, so muß man $OB' = -\alpha$ setzen, während $OB = a$ ist. Dem gemäß wird $\frac{1}{OB} - \frac{1}{OB'} = \frac{1}{p}$, woraus $\frac{OB'}{OB} = \frac{OB'}{p} + 1$ folgt, mithin, wenn man unter der Voraussetzung, daß das Auge der Linse möglichst nahe stehe, die der OB' gleiche Sehweite durch h vorstellt:

$$m = \frac{h}{p} + 1.$$

Es ist also die Zahl der linearen Vergrößerung um die Einheit größer, als der Quotient aus der Brennweite der Linse in die deutliche Sehweite. Das Quadrat dieser Zahl gibt die Vergrößerung der Fläche nach. Bei den gewöhnlichen Angaben der Vergrößerung durch Mikroskope ist stets letztere zu verstehen.

Hieraus sieht man zugleich, daß dieselbe Linse für ein weitsichtiges Auge mehr, für ein kurzsichtiges weniger vergrößere, als für ein gesundes, und daß ein einfaches Mikroskop desto mehr vergrößere, je kürzer die Brennweite der Linse ist. Man hat solche Linsen, die über 40,000mal vergrößern, deren Brennweite daher weniger als 1/2 L. beträgt. Indeß ist die Stärke der Vergrößerung nicht das einzige, wovon der Werth eines solchen Instrumentes abhängt. Es gehört dazu auch, daß das Bild deutlich erscheine. Dieses wird der Fall seyn, wenn die Linse vollkommen sphärische Krümmungen hat, die Halbmesser derselben so eingerichtet sind, daß die sphärische Abweichung nahe ein Kleinstes ist, und die Randstrahlen durch die Fassung abgehalten werden. Zur Vermeidung einer großen chromatischen Abweichung ist es gut, die Linse aus einem Stoffe zu verfertigen, der bei einem großen Brechungsvermögen ein kleines Zerstreuungsvermögen besitzt. Daher thun Linsen aus Edelsteinen, z. B. aus Diamant, Saphir ꝛc. so gute Dienste. Mittelst so beschaffener Linsen kann man die feinsten Gegenstände, wie z. B. die Parallelstreifen auf den Schuppen der Schmetterlingsflügel, deutlich sehen, man wird sich aber mit einem geringen Gesichtsfelde (Raum, den man auf einmal übersieht) begnügen müssen, und beim Gebrauche die Ungemächlichkeit nicht scheuen dürfen, welche aus der Nothwendigkeit entspringt, das Auge recht nahe an die Linse zu bringen.

Man kann statt einer Linse auch eine mit Wasser oder Weingeist gefüllte Glaskugel, oder gar nur einen Wassertropfen auf einem durchlöcherten Metallplättchen als Mikroskop brauchen. Brewster empfiehlt dazu die Krystallinsen aus Fischaugen. Daß bei starken Vergrößerungen das Object hinreichend beleuchtet seyn müsse, versteht sich von selbst. Dieses bewirkt man meistens mittelst eines unter dem Objecte an-

gebrachten Hohlspiegels; oft wendet man aber noch überdieß eigene kleine Hohlspiegel an, die man an die Fassung der Linse ansteckt, damit sie das die Linse verfehlende Licht auf den Gegenstand zurücksenden. Sie heißen Lieberkühn'sche Spiegel, und sind besonders bei opaken Objecten von Nutzen. Jedes dieser Instrumente kann auch gebraucht werden, ohne das Auge so nahe an das Glas zu halten, als vorhin vorausgesetzt wurde, wenn überhaupt die Oeffnung desselben nur etwas bedeutend ist. Je weiter das Auge vom Glase entfernt ist, desto mehr scheint das Object vergrößert, aber desto kleiner wird das Gesichtsfeld. Bei den sogenannten Wilson'schen Loupen steht das Auge im Brennpuncte des Sammelglases, welches zu diesem Behufe in ein Röhrchen mit einer Oeffnung für das Auge gefaßt wird.

346. Zu den einfachen Mikroskopen kann man auch diejenigen zählen, welche aus zwei Converlinsen bestehen, die sich sehr nahe neben einander befinden, und eigentlich die Stelle einer einzigen mehr converen vertreten, dabei aber eine größere Lichtstärke (Helligkeit) gewähren, als eine einzelne, eben so vergrößernde Linse, und eine geringere sphärische Abweichung verursachen. Es ist begreiflich, daß man auf dieselbe Weise drei Linsen zusammensetzen kann.

In die Reihe dieser Instrumente gehört das neue Wollaston'sche Mikroskop mit zwei Planconverlinsen von verschiedener Brennweite, die mit den ebenen Flächen gegen das Object gekehrt sind, auf die aber das Licht, welches das (durchsichtige) Object beleuchtet, und mittelst eines kleinen Planspiegels die gehörige Richtung erlangt, vorerst durch eine Converlinse gelangt (Fig. 349). Die Wirkung eines solchen Mikroskops ist sehr zufriedenstellend. (Pogg. Ann. 16. 176. Zeitschr. 8. 484.)

347. Die gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskope haben folgende Einrichtung: A (Fig. 350) ist eine Sammellinse, BC ein Gegenstand, der etwas außer ihrer Brennweite steht und daher hinter A ein verkehrtes und vergrößertes Bild bc gibt; D ist eine mikroskopische Linse, die gegen bc so steht, wie im einfachen Mikroskope die Linse gegen ihren Gegenstand. Zu einem besonderen Zwecke wird in E (Fig. 351) eine dritte Converlinse angebracht. A heißt Objectivlinse, E Collectivlinse, D Ocularlinse. Die Collectivlinse fängt die aus dem Objectiv tretenden Strahlen, ehe sie sich zum Bilde bc vereinigt haben, auf, und es entsteht dadurch ein von der Objectivlinse weniger entferntes und kleineres Bild b'c', das durch die Ocularlinse betrachtet wird. Um den Ort des durch die Collectivlinse modificirten Bildes eines Punctes des Gegenstandes, z. B. B zu finden, hat man von dem Mittelpuncte der Linse E zu dem correspondirenden Puncte b im Bilde, welches die Objectivlinse für sich allein erzeugt hätte, eine gerade Linie, den Hauptstrahl für die Linse E, zu ziehen, und in ihr Eb' der aus der Gegenstandsweite Eb folgenden Bildweite gemäß aufzutragen. Bei dieser Zusammensetzung der Linsen erhält man im Gesichtsfelde des Ocularglases ein verkehrtes und vergrößertes Bild des Gegenstandes. Stehen überdieß die Krümmungen, Brennweiten, Oeffnungen der Linsen und ihre gegen-

seitigen Stellungen im gehörigen Verhältnisse; so ist dieses Bild auch deutlich und hell, und man genießt ein gehörig großes Gesichtsfeld. Dieses hängt von dem Winkel ab, den die äußersten der durch die Mitte des Objectives gehenden Strahlen mit einander machen, welche noch ins Auge gelangen können. Der vortheilhafteste Platz für das Auge ist der Ort, wo diese Strahlen nach dem Austritte aus dem Ocular die Axe des Instrumentes durchschneiden. Man wird aber nur bei einer sehr guten Einrichtung des Ganzen die Deutlichkeit erlangen, welche ein einfaches Mikroskop gewährt, weil die Undeutlichkeit des vom Objective gemachten Bildes durch das Ocular noch gesteigert wird. Um zu sehen, wovon jeder dieser Vorzüge für sich abhängt, muß man die einzelnen Theile eines Mikroskops, vorzüglich die Objectivlinse und die Ocularlinsen, für sich betrachten.

348. Eine gewöhnliche, einfache Objectivlinse wird selbst bei der vollkommensten sphärischen Gestalt und der zweckmäßigsten Anordnung ihrer Krümmungen immer ein mit der chromatischen Abweichung behaftetes Bild geben; darum muß man sie durch eine Flintglaslinse achromatisiren. Die Flintglaslinse wird dem Objecte zugewendet. Es ist allerdings theoretisch möglich, die vier Krümmungen einer solchen Doppellinse so einzurichten, daß mit der chromatischen Abweichung auch die sphärische größtentheils aufgehoben, mithin die Linse aplanatisch wird; aber in der Ausführung hat dieses, bei der geringen Größe der Krümmungshalbmesser, große Schwierigkeiten. Darum bleibt gewöhnlich bei den achromatischen Doppellinsen, besonders wenn sie sehr kurze Brennweiten haben, von jeder der zwei Abweichungen ein Theil übrig. Um diesen zu heben, braucht man oft drei Linsen, allein diese machen das Bild nur von der chromatischen Abweichung freier, vergrößern aber nicht selten die sphärische. Letztere hebt man am besten, wenn man zwei oder gar drei möglichst gut achromatisirte Doppellinsen unmittelbar über einander schraubt. Solche Objective geben aber nicht bloß ein deutlicheres, sondern auch ein helleres Bild, als die gewöhnlichen, weil man den einzelnen Linsen eine größere Oeffnung geben kann, ohne eine Undeutlichkeit befürchten zu dürfen, und dadurch von jedem Puncte des Objectes einen größeren Lichtkegel ins Auge bringt, als bei einer gewöhnlichen Linse. Indeß haben solche Linsen doch den Nachtheil, daß man das Object sehr nahe an die äußerste derselben stellen muß. — Das Bild, welches eine Objectivlinse macht, wird desto größer seyn, je kürzer die Brennweite der Linse ist, und je näher man das Object an den Brennpunct derselben rückt (oder falls das Objectiv aus mehreren Linsen besteht, je näher das von der vorletzten gemachte Bild am Focus der letzten Linse liegt). Mit der Zunahme der Vergrößerung muß aber die Oeffnung der Linse und mithin auch die Lichtstärke des Bildes abnehmen, und, wenn das Bild nicht vollkommen deutlich ist, auch die Undeutlichkeit wachsen.

349. Das Ocular dient nur als einfaches Mikroskop, durch welches das vom Objective gemachte Bild vergrößert wird; deßhalb

muß es nach denselben Regeln construirt seyn, nach welchen ein solches Mikroskop eingerichtet wird. Doch wird man ein Ocular keineswegs mit so kurzer Brennweite versehen dürfen, wie man es bei einem einfachen Mikroskope thut, weil das auf einmal zu übersehende Stück des Bildes und daher noch mehr das des Objectes zu klein ausfiele, in den meisten Fällen auch die Lichtstärke zu gering wäre und die Deutlichkeit des Bildes völlig verloren ginge. Denn das vom Objective gemachte Bild ist nie ganz frei von Abweichungen, mithin nicht vollkommen deutlich, und mit der Vergrößerung des Bildes wird natürlich auch jede Undeutlichkeit vergrößert. Darum verträgt ein Mikroskop ein desto schärferes Ocular, je vollkommener sein Objectiv ist; darum kann man bei aplanatischen Objectiven dem Oculare einen größeren Theil der Vergrößerung überlassen, als bei den gewöhnlichen. Man muß aber selbst bei der besten Einrichtung des Objectives die chromatische und sphärische Abweichung des Oculars zu heben oder auf ein Kleinstes zu bringen suchen. Zu ersterem Zwecke wird das Collectivglas angebracht, dessen Function man aus Folgendem ersehen wird: Es sey A a (Fig. 352) ein von dem Objective kommender, auf die Collectivlinse fallender Lichtstrahl. Durch diese wird er gebrochen und zugleich zerstreut, so daß der violette Theil die Richtung a c, der rothe die Richtung a b erhält, und daher einer die Axe des Instrumentes früher schneidet als der andere. Allein wenn sie, bevor sie ins Auge kommen, noch durch die Linse O gehen müssen, so wird der violette Strahl, der sie an einer ihrer Axe näheren Stelle trifft, weniger abgelenkt, als der rothe, und bei gehöriger Anordnung der zwei Linsen werden diese Strahlen mit einander parallel, wie b x und c y. Die sphärische Abweichung des Oculars macht man dadurch unschädlich, daß man Linsen von der besten Form oder Planconvexlinsen, mit der Krümmung gegen das Object gekehrt, anwendet, und etwa ihre halbe Oeffnung mittelst der Fassung deckt. Uebrigens ist es klar, daß man für dasselbe Objectiv mehrere Oculare, und für dasselbe Ocular mehrere Objective brauchen kann, die stufenweise mehr vergrößern. Plößl, dessen Mikroskope mit Recht einen ausgezeichneten Ruf genießen, braucht oft mit Vortheil als Ocular zwei achromatisirte Linsen.

350. Das Objectiv und die Oculare müssen in eine Röhre eingeschlossen seyn, die inwendig zur Abhaltung alles Seitenlichtes geschwärzt ist, und ihre Axen müssen in eine gerade Linie fallen. Da, wo das vom Objective gemachte Bild seinen Platz hat, wird überdieß noch ein kreisförmiger Ring (Diaphragma) angebracht, der alles an der Grenze des Bildes befindliche, unordentlich zerstreute Licht abhält, ja sogar oft einen Theil des Bildes selbst hindert, die Strahlen auf das Ocular zu senden. Das Object wird auf einer besonderen Unterlage an einem eigens dazu bestimmten Tische angebracht, der sich dem Objective nähern und davon entfernen läßt, wenn nicht vielleicht das Objectiv selbst gegen denselben beweglich ist, um so das von letzterem gemachte Bild stets in das Diaphragma bringen zu können. Um eine hinreichende Helligkeit zu erzielen, wird das Object eigens mittelst

Tages-, bequemer mittelst Lampenlicht beleuchtet. Für durchsichtige Gegenstände dient ein Concavspiegel, der unter dem Tische nach allen Seiten beweglich angebracht ist, dessen Randstrahlen, wo die Beleuchtung (zum Vortheile der Schärfe der Bilder) gemäßigt werden darf, durch ringförmige Schirme von zweckmäßiger Größe abgehalten werden können; für opake Objecte hat man gewöhnliche Sammellinsen oder noch besser eine prismatische Linse, wie sie Fig. 353, A darstellt. In diese dringt das Licht durch die gekrümmte Fläche ab ein, erleidet an der ebenen, mit der Fassung belegten Fläche ac eine Reflexion gegen die zweite gekrümmte Fläche bc, und gelangt so concentrirt auf das Object de. Fig. 353 stellt ein zusammengesetztes Mikroskop vor.

351. Bei der Beurtheilung eines Mikroskopes hat man hauptsächlich auf die Reinheit und Größe des Gesichtsfeldes, auf die Deutlichkeit und Klarheit des Bildes und auf die Stärke der Vergrößerung zu sehen.

352. Das Gesichtsfeld soll nicht bloß in der Mitte, sondern bis auf den äußersten Rand rein und farblos seyn und eine hinreichende Größe haben. Letztere bestimmt man am besten mittelst eines hinreichend fein getheilten Mikrometers, indem man ihn als Object braucht und die Anzahl der auf einmal übersehenen Theilungsfelder zählt.

353. Die Deutlichkeit und Klarheit der Bilder schätzt man mittelst zweckmäßig gewählter Probeobjecte. Als solche sind vorzüglich die obersten Schuppen der Schmetterlingsflügel brauchbar, wie z. B. die vom Papilio Crataegi und Brassicae oder vom Papilio Menelaus oder von der Kleidermotte. Diese Schuppen sind auf ihrer Oberfläche der Länge nach mit feinen, parallelen Streifen versehen. Je deutlicher diese Linien erscheinen und bei je geringerer Vergrößerung man sie sieht, desto größer ist die Deutlichkeit des Bildes.

Die Längenstreifen des Papilio Crataegi, Brassicae und Menelaus sollen bei 60—80maliger linearer Vergrößerung erscheinen, bei 100—200maliger soll man auch die Zwischenräume sehen und den Stiel als conische Röhre erkennen. Die Streifen auf den Schuppen der Motte zeigen nur die besten Instrumente bei einer 300—400maligen Vergrößerung. Ganz vorzügliche Instrumente machen da auch Querlinien bemerkbar. Es ist überhaupt gut, irgend ein Object, dessen vergrößertes Bild man durch öfteres Anschauen im Gedächtnisse hat, zur Prüfung eines Mikroskopes zu wählen.

354. Die Stärke der Vergrößerung eines Mikroskopes kann man entweder aus den bekannten Brennweiten der Linsen und ihrer Entfernung von einander und vom Objecte durch Rechnung finden, oder durch Versuche ausmitteln. Im ersteren Falle sucht man die durch das Objectiv (348) und dann die durch das Ocular (349) bewirkte Vergrößerung. Das Product beider gibt die Vergrößerung des Mikroskopes. Bei der practischen Bestimmung der Vergrößerungszahl kann man auf zweifache Weise verfahren und entweder die ganze Vergrößerung auf einmal suchen, oder jeden der zwei Theile, aus denen

sie besteht, besonders bestimmen. Die durch das Objectiv bewirkte Vergrößerung läßt sich auf practischem Wege so finden: Man betrachte ein Mikrometer als Object und zähle, wie viele Felder seines Gitters man auf einmal übersieht. So vielmal nun der Durchmesser des übersehenen Stückes in dem Durchmesser des Diaphragma's enthalten ist, so vielmal vergrößert das Objectiv linear. Oder man nehme zwei ganz gleiche Mikrometer, lege einen als Object auf den Tisch des Instrumentes, den anderen in das Diaphragma unter dem Oculare. Da der eine nur durch das Ocular, der andere durch das Objectiv und Ocular zugleich vergrößert wird, so braucht man nur zu beobachten, wie viele Theile des einen in einen Theil des anderen fallen, um zu erfahren, wie vielmal das Objectiv vergrößere. Die vom Oculare herrührende Vergrößerung kann man nur durch Rechnung bekommen. Durch Multiplication der vom Objectiv hervorgehenden Vergrößerung mit der vom Oculare erzeugten erhält man wieder die ganze Vergrößerung des Instrumentes. Zur Bestimmung der ganzen vergrößernden Wirkung des Mikroskopes ist vorzüglich das vom Freiherrn von Jacquin angegebene Verfahren zu empfehlen. Man befestiget nämlich über dem Ocular einen kleinen Planspiegel so, daß er gegen die Axe des Instrumentes um 45° geneigt ist, und legt ein Mikrometer als Object ein. Da sieht man nun in dem Spiegel das Bild des Objectes in horizontaler Richtung an einer gegenüber stehenden Wand, wenn das Mikroskop vertical steht. Ist diese Wand in der deutlichen Sehweite und mit einer in Linien getheilten Scale versehen, so kann man leicht abnehmen, wie groß ein Theil des Mikrometers erscheint und durch Division der scheinbaren Größe durch die wirkliche die lineare Vergrößerungszahl finden. (Jacquin in Zeitschr. 4. 1.)

Man kann mittelst eines Mikrometers auch den Durchmesser kleiner Gegenstände, die man durch das Mikroskop ganz sieht, bestimmen. Zu diesem Behufe legt man ein Mikrometer auf die Blendung unter dem Ocularglase, wobei diese Blendung so stehen muß, daß das Mikrometer durch das Ocularglas betrachtet, vollkommen deutlich erscheint. Bringt man nun vorläufig vor das Objectiv ein Mikrometer, und kennt man den absoluten Werth des Abstandes zweier benachbarten Theilstriche auf demselben genau, so erfährt man durch Vergleichung beider Mikrometer, ein für alle Mal, wie groß ein vor dem Objectiv stehender Gegenstand ist, dessen Bild mit dem Mikroskop deutlich gesehen, auf dem Ocular-Mikrometer eine gewisse Anzahl Theilstriche einnimmt, so daß man durch bloße Anwendung des Ocular-Mikrometers mit Leichtigkeit die Dimensionen jedes beliebigen Objectes (sogar eines in Bewegung befindlichen Gegenstandes), mit einer von der Beschaffenheit der angewendeten Mikrometer abhängenden Genauigkeit messen kann. Ganz Vorzügliches leisten die von dem großen Künstler Fraunhofer und auch an Plößl's Instrumenten angebrachten Schraubenmikrometer, wodurch man jede kleine Verschiebung des Objecttisches des Mikroskopes, und wenn man so die beiden Enden des Bildes der zu messenden Dimension eines Gegenstandes mit einem feinen, über die Blendung des Oculars gespannten Faden nach einander in Contact bringt, den Durchmesser eines Gegenstandes bis $^1/_{100000}$ eines Zolles finden kann. (Brander's Beschreibung zweier zusammengesetzter

Mikroskope. Augsburg, 1769. *Essay on the microscope by Adams. London.* 1787. Klügel's Dioptrik. Leipzig, 1778. S. 252 u. s. f. Sehr lehrreich ist ein Aufsatz über Mikroskope vom Freih. von Jacquin in Zeitschr. 5. 129.)

355. Unter den katoptrischen Mikroskopen ist das von Amici erfundene bei weitem das vorzüglichste. Es besteht im Wesentlichen aus zwei Metallspiegeln a und b (Fig. 354), die sich in einem horizontalen Rohre befinden, und aus einem Ocularglase. Der größere Spiegel ist hohl, elliptisch gekrümmt, hat einen gleichen Durchmesser mit dem Rohre, befindet sich am Ende desselben und ist so gestellt, daß seine Axe mit der des Rohres zusammenfällt. Der andere Spiegel ist eben, sehr klein, unter 45° gegen die Axe des Rohres geneigt, so gestellt, daß seine Mitte in dieser Axe liegt, mit der spiegelnden Oberfläche nach unten gekehrt und einer Oeffnung im Rohre zugewendet, unter welcher sich der Objectträger c befindet. Zur Beleuchtung des Gegenstandes dienet ein Hohlspiegel. Das wohlbeleuchtete Object sendet die Strahlen durch die Oeffnung auf den Planspiegel, der sie auf den elliptischen Hohlspiegel zurückwirft, und dieser macht am entgegengesetzten Ende des Rohres ein Bild, das man mit einem Ocularglase ansehen kann. Dieses Instrument gewährt eine bedeutende Vergrößerung, stellt wegen Mangel der Farbenzerstreuung die Gegenstände scharf und in ihren wahren Farben dar, man kann damit Gegenstände von bedeutender Größe, selbst solche, die im Wasser schwimmen, beobachten, weil sie wenigstens $1/2$ Zoll vom Körper des Instrumentes entfernt bleiben, beim Beobachten länger aushalten, indem das Instrument horizontal steht, und die Vergrößerung schnell wechseln, ohne die Entfernung des Objectes vom Instrumente zu ändern; doch muß man alle die Vortheile durch Aufopferung der Lichtstärke erkaufen, besonders wenn man starke Vergrößerungen anbringen will. (*Memoria di Microscopi catadioptrici. Mod.* 1818. Zeitschr. 1. 301. Barfuß, Theorie der Spiegelmikroskope. Weimar 1840.)

356. Zu den Mikroskopen kann man auch das Sonnen-, das Gas- (Hydro-Oxygen-) und das Lampenmikroskop zählen. Der Zweck dieser Instrumente ist, die Bilder kleiner Gegenstände stark vergrößert auf eine weiße Tafel oder auf einen transparenten Schirm zu projiciren, und auf diese Weise mehreren Personen zugleich sichtbar zu machen. Sie kommen darin überein, daß bei jedem derselben der Gegenstand in umgekehrter Lage vor eine oder besser vor mehrere achromatisch und aplanatisch verbundene Linsen gestellt wird, etwas weiter als der Vereinigungspunct paralleler Strahlen von denselben entfernt. Je mehr der Gegenstand letzterem Puncte genähert wird, desto größer fällt die Bildweite, mithin um so größer das Bild selbst aus. Aber die Lichtstärke des Bildes wird dabei im Verhältnisse des Quadrates jeder linearen Dimension desselben verringert; soll daher dieses Bild auf dem Schirme oder der Tafel, worauf man es auffangt, mit befriedigender Helligkeit erscheinen, so muß man für hinreichende Beleuchtung des Gegenstandes Sorge tragen. Durch die Art, auf welche diese er-

zielt wird, unterscheiden sich oben genannte drei Instrumente. Bei dem Sonnenmikroskope, Fig. 355, dient das Sonnenlicht zur Beleuchtung. Die auf einen beweglichen, gehörig gestellten ebenen Spiegel A fallenden Sonnenstrahlen werden nach ihrer Reflexion von einer großen Sammellinse B aufgenommen, und durch diese in ihrer Brennweite zu einem Sonnenbilde vereinigt. An den Ort desselben bringt man den Gegenstand, wenn er durchsichtig ist. Die durch ihn gehenden Strahlen fallen auf die mikroskopischen Linsen C, deren Axe mit jener des Beleuchtungsglases übereinstimmt. Gewöhnlich wendet man aber statt Einer Beleuchtungslinse, deren zwei an, Fig. 356, indem die von der größeren Linse B convergent gemachten Sonnenstrahlen durch eine zweite kleinere Linse D noch mehr convergent werden, wodurch zugleich die Größe des beleuchtenden Raumes MN gesteigert wird. Undurchsichtige Gegenstände müssen auf der den mikroskopischen Linsen zugekehrten Seite beleuchtet werden, zu welchem Behufe man die durch die Beleuchtungslinsen vereinigten Strahlen mittelst eines Spiegels dem, sammt den mikroskopischen Linsen etwas höher gestellten Gegenstande zusendet. Bei dem Gasmikroskope wird, wie Carry zuerst gethan hat, das sehr intensive Licht, welches ein Stück frisch gebrannten Kalkes in der Knallgasflamme verbreitet, zur Beleuchtung des Objectes benützt. Da hier nicht wie bei dem Sonnenlichte parallele, sondern divergirende Strahlen auf die Beleuchtungslinse fallen, so ist bei der Anordnung des Beleuchtungsapparates darauf Rücksicht zu nehmen. Bei dem Lampenmikroskope behilft man sich zur Beleuchtung des Gegenstandes mit einer guten Oehllampe, muß sich aber auch mit einer geringeren Ausdehnung des Bildes begnügen, zu welchem Zwecke man die dasselbe hervorbringenden Strahlen, durch eine oder mehrere größere Linsen G, H (Fig. 357) auf einen engern Raum zusammendrängt, und das Bild mit einem transparenten Schirme auffängt. Fig. 357 zeigt die Anordnung der Beleuchtung eines undurchsichtigen Gegenstandes. C ist eine sehr convexe Linse, welche von einer starken Lampe A Licht bekommt, und es in parallelen Strahlen auf den Hohlspiegel B sendet, der so geneigt ist, daß er es auf das Object E schickt, von welchem es zu den mikroskopischen Linsen F gelangt. Das Megaskop unterscheidet sich von den hier beschriebenen Mikroskopen bloß dadurch, daß es zur Darstellung von Bildern größerer Gegenstände bestimmt ist, daher statt der mikroskopischen Linsen eine Linse von größerer Brennweite enthält, die keine so starke Vergrößerung gewährt, vor welcher der gut beleuchtete Gegenstand in verkehrter Lage steht.

Mehr zur Spielerei als zum wahren Nutzen dient die Zauberlaterne (Fig 358). Sie besteht aus zwei Sammelgläsern A und B. Vor dem ersten, aber innerhalb seiner Brennweite, steht ein transparentes auf Glas gemaltes Bild C, welches von einer starken Flamme a, mittelst eines Beleuchtungsspiegels D erhellet wird. Das zweite Glas steht so, daß es ein großes Bild EF des Gegenstandes macht, welches man auf einer Wand auffangen kann. Ist diese Wand durchscheinend, so kann man hinter ihr die Bilder der Gegenstände vergrößert sehen und

auf diese Weise sehr imposante, phantasmagorische Phänomene hervorbringen.

357. Fernröhre (Teleskope) braucht man, um entfernte Gegenstände vergrößert zu sehen. Sie werden, wie die Mikroskope in dioptrische und katoptrische eingetheilt, d. i. in solche, die bloß aus Linsen, und in solche, welche aus Linsen und Spiegeln bestehen. Große dioptrische pflegt man Refractoren, große katoptrische Reflectoren zu nennen. Ein dioptrisches Instrument von mittlerer Größe heißt ein Tubus. Da der Zweck der Fernröhre derselbe ist, wie jener der Mikroskope, so muß in ihrer Construction viel Uebereinstimmung herrschen; allein da Mikroskope zur Besichtigung naher Gegenstände gebraucht werden, die man nach Bedürfniß beleuchten kann, Objecte aber, welche der Gegenstand der Betrachtung durch Fernröhre sind, eine größere Entfernung von uns haben und in ihrer natürlichen Beleuchtung angesehen werden müssen; so wird im Baue der Fernröhre auch manches Eigenthümliche vorkommen. An jedem Fernrohre, es sey ein dioptrisches oder katoptrisches, muß man zwei Theile unterscheiden, nämlich das Objectiv und das Ocular. Bei den dioptrischen ist das Objectiv eine Convexlinse, bei den katoptrischen ein Hohlspiegel.

358. Das Objectiv ist der wichtigste Theil eines Fernrohres, aber auch derjenige, welcher am schwersten in gehöriger Vollkommenheit zu verfertigen ist. Es soll einen bedeutenden Durchmesser haben, um von jedem Puncte des Objectes einen großen Lichtkegel aufnehmen und ein helles Bild geben zu können. Große und zugleich homogene Glasstücke, wie sie zu größeren Objectiven erfordert werden, sind aber, besonders bei Flintglas, das gar leicht wellig erscheint, schwer zu erhalten, und es gehört große Geschicklichkeit dazu, großen Linsen genau die Krümmung einer Kugel zu geben. Da das Bild auch deutlich seyn soll, so muß man die Linse sowohl von der chromatischen, als auch von der sphärischen Abweichung möglichst frei machen und darum sie durch eine Hohllinse von Flintglas achromatisiren und den einzelnen Flächen dieser Doppellinse die Krümmungen geben, welche nöthig sind, um die sphärische Abweichung auf ein Kleinstes zu bringen. Dieses wird bei großen Objectiven ohne Vergleich schwieriger seyn, als bei kleineren, weil man bei jenen manches in Rechnung bringen muß, das man bei diesen vernachläßigen kann, wie z. B. die Dicke der Gläser, die Entfernung der zwei Bestandtheile der Doppellinse rc. Man kann nicht darauf rechnen, die sphärische Abweichung durch Uebereinanderlegen zweier oder dreier achromatischen Linsen heben zu können, weil durch ihre Anwendung dem Bilde zu viel Licht entgeht. Darum hat auch Fraunhofer immer nur Doppelobjective gewählt, doch scheinen dreifache in mancher Beziehung besondere Vorzüge zu haben. Bei jenen ist das Crownglas auswärts gekehrt und doppelt, aber ungleich convex, das Flintglas aber nach innen und ist convex-concav. Objective mit von einander stark abstehenden Bestandlinsen (dialytische Linsen) gewähren viele Vorzüge, weil man mit einem Flintglase ausreicht,

das nur halb so viel Oeffnung hat, als das Crownglas, weil die Länge des Instrumentes geringer ausfällt und doch noch eine größere Bildschärfe erzielt wird. Wenn man ein einfaches Objectiv brauchen will, so muß man alle Randstrahlen durch eine Blendung abhalten und doch auf eine starke Färbung des Bildes gefaßt seyn.

359. Nach Verschiedenheit des Oculars, das man mit einem Objective verbindet, dient das hieraus hervorgehende Fernrohr zu verschiedenen Zwecken und erhält auch verschiedene Namen. Nimmt man als Ocular eine Hohllinse und gibt ihr eine solche Stellung gegen das Objectiv, daß die von einem hinreichend entfernten Gegenstande auffallenden und durch das Objectiv convergirend gemachten Strahlen durch das Concavglas so gebrochen werden, als kämen sie von einem Gegenstande, der sich in der deutlichen Sehweite befindet, so heißt das Instrument ein holländisches oder galileisches. Ist A (Fig. 359) das Objectivglas eines solchen Fernrohres, das von einem entfernten Gegenstande Strahlen bekommt; so würde dieses ein Bild a c b geben, wenn kein Ocularglas da wäre. Durch dieses Glas B werden aber, vorausgesetzt, daß die Entfernung desselben von a b etwas größer ist, als seine imaginäre Brennweite, die Strahlen so gebrochen, als kämen sie vom Bilde a′c′b′. Man wird daher den Gegenstand in natürlicher Lage, und wenn sich das Bild in der Sehweite des Auges befindet, auch deutlich sehen. — Um die Vergrößerung m dieses Instrumentes zu finden, muß man den Sehwinkel, unter welchem der Gegenstand mit dem Instrumente erscheint, mit dem vergleichen, unter welchem er ohne Instrument gesehen wird. Denkt man sich das Auge an dem Platze des Objectivglases, so ist der halbe Sehwinkel ohne Instrument b O c, und der mit dem Instrumente kann ohne Fehler für b O′c angenommen werden. Nun ist aber

$$\mathit{tang}\; bOc = \frac{bc}{Oc},\quad \mathit{tang}\; bO'c = \frac{bc}{O'c},\quad \frac{\mathit{tang}\; bO'c}{\mathit{tang}\; bOc} = \frac{Oc}{O'c},$$

mithin weil b O c und b O′c nur kleine Winkel sind,

$$m = \frac{bO'c}{bOc} = \frac{Oc}{O'c}.$$

Wegen der sehr großen Entfernung des Gegenstandes vom Objectivglase kann O c der Brennweite p dieser Linse gleich gesetzt werden. Nennt man nun die Brennweite des Ocularglases p, und setzt man, weil O c größer ist als diese, O′c = p′ + δ, so hat man

$$m = \frac{p}{p' + \delta}.$$

Um die Größe von δ zu beurtheilen, bedenke man, daß die Axen der aus dem Oculare tretenden Strahlenkegel divergiren, mithin das Auge, um an möglichst vielen dieser Strahlenbündel Antheil zu nehmen, dicht hinter dem Oculare stehen muß. Es wird also O′c der Sehweite gleich gesetzt werden müssen, die wir mit h bezeichnen wollen. Schreiben wir nun, um die Formel (C) in 259 auf den vorliegenden Fall anzuwenden — O′c statt a, — h statt α, — p′ statt p, so ergibt sich die Gleichung

$$\frac{1}{O'c} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{h} = \frac{h - p'}{h\,p'}, \text{ d. h. } p' + \delta = \frac{h\,p'}{h - p'},$$

$$\text{also } \delta = \frac{p'^2}{h - p'}.$$

Ist nun, was in der Regel Statt findet, die Brennweite des Ocularglases gegen die Sehweite sehr klein, so kann δ als eine zu vernachläßigende Größe betrachtet werden, und es wird $m = \frac{p}{p'}$.

Die Vergrößerungszahl ist daher unter den genannten Voraussetzungen gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglases in die des Objectivglases.

Streng genommen gilt diese Regel, wie aus dem Gesagten erhellet, nur für ein unendlich weitsichtiges Auge. Kleinere Werthe von h geben größere Werthe für δ; es müssen daher Kurzsichtige das Ocular dem Objective mehr nähern, als Weitsichtige. Wegen der Divergenz der Axen, der aus dem Oculare kommenden Strahlenbündel hat ein solches Fernrohr immer nur ein sehr kleines Gesichtsfeld. Deßhalb kann man es nur dann zu stärkerer (10—30maligen) Vergrößerung brauchen, wenn alles in hohem Grade vollkommen construirt worden, wie dieses bei Plößl's sogenannten Feldstechern der Fall ist, die im Verhältniß ihrer Größe Unglaubliches leisten (Zeitschr. 8. 189). Es bleibt zwar selbst bei der Anwendung eines achromatischen Objectives, die durch das Ocularglas bewirkte Farbenzerstreuung übrig; allein diese bringt keine gar große Wirkung hervor, weil das Auge sehr nahe am Ocularglase steht, wo die Strahlen nicht sehr divergiren. Man hält es deßhalb nicht immer für nothwendig, durch Einführung eines Collectivglases dieser Zerstreuung so zu steuern, wie es beim Mikroskope geschah, um so mehr, da die minder (2—4mal) vergrößernden Instrumente dieser Art meistens nur als Theaterperspective, mithin Nachts gebraucht werden, wo das Licht minder lebhaft ist. Man kann ein Instrument mit mehreren Ocularen von verschiedener Stärke versehen und sie an eine Drehscheibe befestigen, damit man sie schnell wechseln und so hinter einander mehrere (3 oder 4) verschiedene Vergrößerungen anbringen könne, wie dieses ebenfalls an Plößl's Feldstechern der Fall ist.

360. Wird eine Converlinse zum Ocular gewählt, so erhält man das astronomische Fernrohr. Dieses besteht demnach aus einem converen Objectivglase A (Fig. 360) und aus einem converen Ocularglase B. Diese sind so gestellt, daß das von einem entfernten Gegenstande auf A fallende Licht zu einem verkehrten Bilde ab vereinigt wird und von da aus so ins Ocularglas gelangt, daß für ein dahinter befindliches Auge ein Bild a′b′ in der deutlichen Sehweite erscheint. Man sieht daher den Gegenstand verkehrt und bei gehöriger Wahl des Oculars auch vergrößert. Zur Bestimmung der Vergrößerung m kann man wieder annehmen, daß aob der Sehwinkel des Gegenstandes für das freie, und ao′b für das bewaffnete Auge sey. Man hat daher, wie vorhin

$$\frac{\tan a\,o'c}{\tan a\,o\,c} = \frac{o\,c}{o'c} \text{ oder nahe } \frac{a\,o'b}{a\,o\,b} = \frac{o\,c}{o'c} = m.$$

Heißt man die Brennweite des Objectivglases, die man $= o\,c$ setzen

kann, p; jene des Ocularglases p', und setzt man, da o'c < p' seyn muß, o'c = p' — δ, so wird

$$m = \frac{p}{p' - \delta},$$

oder in sofern man δ vernachläßigen darf,

$$m = \frac{p}{p'},$$

d. i. die Vergrößerungszahl gleicht dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglases in die des Objectivglases.

Diese Instrumente werden gewöhnlich mit der größten Sorgfalt construirt, damit sie von den Himmelskörpern, zu deren Beobachtung man sie anwendet, ein stark vergrößertes und doch recht deutliches Bild geben. Darum muß man auch die Farbenzerstreuung des Oculars durch Einführung eines Collectivglases, wie bei den Mikroskopen aufheben, um so mehr, als dadurch zugleich auch das Gesichtsfeld vergrößert wird. Hinsichtlich desselben gilt hier alles, was in Betreff des Oculares eines zusammengesetzten Mikroskopes gesagt wurde. Es stimmt auch die Einrichtung des Ocularapparates eines astronomischen Fernrohres mit jenem des Mikroskopes in der Regel überein; nur für besondere Zwecke bedient man sich der von Ramsden zuerst ausgeführten Einrichtung, bei der die vom Objectiv kommenden Strahlen erst, nachdem sie ein Bild geliefert haben, ins Collectivglas eintreten, mithin zwischen dieses und das Ocular kein Bild fällt. Es werden nämlich oft bei solchen Fernröhren an der Stelle des Diaphragma's, d. i. an den Platz des vom Objectiv herrührenden Bildes am Oculare feine Fadenkreuze oder Mikrometer eingesetzt, um damit Objecte messen zu können. Ramsdens Ocular gestattet die Vertauschung desselben mit einem andern schärferen oder schwächeren, ohne Aenderung des Mikrometers, während bei der früheren Anordnung mit jedem Oculare ein besonderes Mikrometer verbunden seyn muß. Bei sehr starken Vergrößerungen ist man genöthigt auf das Collectiv gänzlich zu verzichten.

361. Um irdische Gegenstände stark vergrößert und doch aufrecht zu sehen, verbindet man mit dem Objective ein dreifaches oder gar ein vierfaches Ocular, und nennt das daraus hervorgehende Fernrohr ein Erdfernrohr. Ein solches stellt Fig. 361 dar. Das Objectivglas A macht von einem hinreichend entfernten Gegenstande ein verkehrtes Bild ab; von diesem fallen die Strahlen auf das erste Ocularglas B, gelangen von diesem auf das zweite C und auf das dritte und vierte D und E so, daß entweder hinter dem zweiten C oder hinter dem dritten ein aufrechtes Bild des Gegenstandes entsteht, welches, durch die zwei oder durch die eine noch übrige Ocularlinse angesehen, in der deutlichen Sehweite erscheint. Es dienen daher die Linsen B und C zur Umkehrung des Bildes, die Linse D zur Achromatisirung des vom Oculare E gemachten Bildes. Die Vergrößerung eines solchen Instrumentes hängt von dem Verhältnisse der Brennweiten der einzelnen Linsen und von ihrer gegenseitigen Entfernung ab. Darum kann man mit demselben Instrumente, ohne das Ocular zu verwechseln, mehrere Vergrößerungen dadurch hervorbringen, daß man die Entfernung der Ocularlinsen von einander ändert. Damit aber dadurch die Deutlichkeit nicht leide, darf nur die Lage der drei inneren Oculare gegen

einander, nicht aber die des äußersten gegen das Auge geändert werden, auch wird es für diese nur bestimmte Lagen geben, wo sie ihren Dienst nicht versagen. Derlei Oculareinrichtungen heißen Pancratische oder Kitschiner'sche. (Zeitschr. 4. 501.)

Als eines der größten dioptrischen Fernröhre, welche bis jetzt verfertigt wurden, kann der Fraunhofer'sche Refractor zu Dorpat angeführt werden. Sein Objectiv hat 9 P. Z. Oeffnung und 160 Z. Brennweite, und vergrößert mit dem schärfsten Oculare 600mal. Er ist zugleich mit einem Uhrwerke eigener Art in Verbindung, durch welches er in 24 Stunden in einem Kreise wie ein Fixstern herumgetrieben wird, so daß, wenn einmal ein Fixstern in das Gesichtsfeld gebracht ist, derselbe stets darin bleibt, ohne einer Beihilfe des Beobachters zu bedürfen.

362. Zur Zeit, als man noch an der Möglichkeit achromatischer Linsen zweifelte, wußte man kein anderes Mittel, durch Fernröhre reine und vom farbigen Rande möglichst freie Bilder entfernter Gegenstände zu bekommen, als durch Anwendung der Spiegel statt der Linsen. Auf diese Weise entstanden die katoptrischen Fernröhre, von denen vorzüglich vier Gattungen bekannt sind: nämlich das Herschel'sche, das Newton'sche, das Gregory'sche und das Cassegrain'sche.

363. Ein Fernrohr nach Herschel's Art besteht aus einem Hohlspiegel AB (Fig. 362), der etwas gegen die Axe der Röhre, in welcher er sich befindet, geneigt ist und von weit entfernten Gegenständen ein verkehrtes Bild ab in der Nähe des unteren Randes der Röhre macht, das man durch eine Ocularlinse C ansehen kann. Solche Instrumente müssen sehr große Spiegel haben, damit die Anzahl der Strahlen, welche durch den Kopf des Beobachters vom Spiegel abgehalten werden, gegen die ganze Lichtmenge, welche den Spiegel trifft, unbedeutend sey.

Das große Instrument, womit Herschel einen bedeutenden Theil seiner so wichtigen Entdeckungen machte, hatte einen Hohlspiegel von 4 Fuß Durchmesser und einer Brennweite von 40 Fuß; er wog 25 Zentner. Dieses Instrument vergrößerte 7000mal und brachte 36500mal mehr Licht ins Auge, als von demselben Objecte frei dahin gelangen konnte.

364. Im Newton'schen Fernrohre werden die von einem entfernten Gegenstande auf den großen Hohlspiegel AB (Fig. 363) fallenden und von da zurückgeworfenen Strahlen, von einem kleineren, gegen die Axe des ersteren unter 45° geneigten Planspiegel CD, nach einer seitwärts angebrachten Convexlinse E reflectirt, so daß das verkehrte Bild des Gegenstandes durch E angesehen werden kann. Es hat aber die Unbequemlichkeit, daß es die Gegenstände verkehrt zeigt und daß man zum Aufsuchen derselben viele Mühe braucht. Indeß wird letzteres durch ein kleines dioptrisches Fernrohr (Sucher), das mit der Axe des Rohres parallel läuft, bedeutend erleichtert.

365. Das Gregory'sche Fernrohr (Fig. 364) vereiniget durch einen Hohlspiegel AB die von einem entlegenen Gegenstande kommenden Strahlen zu einem verkehrten Bilde ab. Von diesem gelangen

die Strahlen auf einen zweiten kleinen Hohlspiegel CD, werden da gegen den großen Spiegel reflectirt, in dessen Mitte sich ein Loch befindet, und zu einem aufrechten Bilde cd vereiniget, welches durch die im Loche des Spiegels befindliche Converlinse E angesehen werden kann. Dieses Instrument zeigt zwar aufrecht und vergrößert, aber die Bilder leiden durch die Abweichung wegen der Kugelgestalt beider Spiegel sehr an Deutlichkeit.

366. Um die große Abweichung wegen der Kugelgestalt, die im vorigen Instrumente Statt findet, zu vermindern, hat Cassegrain statt des kleineren Concavspiegels einen kleinen Converspiegel angebracht. Da sind aber die Spiegel so gestellt, daß die Strahlen vom concaven eher auf den convexen fallen, als sie zu einem Bilde vereiniget werden.

367. Das Ocular eines Fernrohres muß mit seinem Objective, es mag dieses nun eine Linse oder ein Spiegel seyn, so verbunden werden, daß ihre Axen in einer geraden Linie liegen. Beide werden in Röhren eingesetzt. Das Ocular bekommt gewöhnlich eine eigene Röhre, damit es die für jedes Auge und für jede Entfernung des zu betrachtenden Gegenstandes angemessene Entfernung vom Objective annehmen kann. Kleinere Instrumente, deren Länge nicht viel über zwei Fuß beträgt, bekommen Zugröhren, damit sie sich zusammenschieben und bequem tragen lassen. Größere kann man nicht mit Zugröhren versehen, weil diese fast nie völlig gerade sind; selbst wenige Zolle lange Zugröhren passen nur in einer gewissen Lage am besten zusammen, die darum oft mittelst Sternchen bezeichnet ist. Das Innere der Röhren wird zur Abhaltung alles Seitenlichtes geschwärzt, und an den Stellen, wohin die wirklichen Bilder fallen, mit Diaphragmen versehen. Bekommt ein solches Instrument ein Fadenkreuz, so muß dieses an der Stelle eines Bildes angebracht werden. Katoptrische Instrumente werden fast immer mit Metallfassungen versehen und lassen sich nicht wohl als Taschenfernröhre brauchen. Bei diesen sowohl, als bei dioptrischen Instrumenten muß das Ocular in Betreff der Oeffnung und Brennweite zum Objective passen. Gewöhnlich ist sie eine Planconverlinse, nur bei dialytischen Fernröhren ist sie aus guten Gründen biconver.

368. Ein Fernrohr ist desto vollkommener, je mehr es vergrößert, je deutlicher und heller seine Bilder sind und je größer sein Gesichtsfeld ist. Jede einzelne dieser guten Eigenschaften läßt sich aber nur auf Kosten der übrigen erhöhen. Will man z. B. die Vergrößerung steigern, so muß man bei demselben Objective ein Ocular mit kürzerer Brennweite nehmen; dieses muß aber eine kleinere Oeffnung erhalten, wenn das Bild deutlich bleiben soll, und wird darum ein kleineres Gesichtsfeld gewähren. Daß das Bild an Helligkeit verlieren müsse, ist für sich klar, auch ist es leicht einzusehen, daß diese bei derselben Vergrößerung mit der Oeffnung des Objectives wachsen muß. Darum verträgt jedes Fernrohr mit einem bestimmten Objective nur eine gewisse Vergrößerung.

Die vorzüglichsten Fernröhre sind ohne Zweifel bis jetzt von Fraunhofer und von Plößl verfertigt worden.

369. Zur Prüfung eines Fernrohres auf Deutlichkeit und Klarheit taugen vorzüglich Objecte, die leuchtend auf dunklem Grunde erscheinen, mithin vorzüglich Himmelskörper zur Nachtszeit, wohl auch weiße Puncte oder Scheibchen auf schwarzem Grunde bei hinreichender Tageshelle. Ihr Bild muß rein und scharf begrenzt erscheinen, es mag in der Mitte des Gesichtsfeldes oder am Rande desselben sich befinden. Uebrigens soll ein gutes Fernrohr so beschaffen seyn, daß man durch jeden Punct des Objectives das Ocular sieht, ersteres soll frei von Wellen seyn, wenigstens nicht viele Blasen haben und keine Farbenringe zeigen. Die Größe des Gesichtsfeldes wird erkannt, wenn man den Gesichtswinkel des Gegenstandes bestimmt, den man auf einmal übersieht. Um die Vergrößerungszahl zu finden, sieht man auf einen in gleiche Theile getheilten Gegenstand durch das Fernrohr und zugleich mit freiem Auge, und schätzt, wie viele der mit freiem Auge gesehenen Theile auf einen Theil, wie er durch das Fernrohr erscheint, fallen. Man wendet da mit Vortheil ein ähnliches Verfahren an, wie bei Mikroskopen (354), indem man die Größe des Bildes einer in bestimmter Entfernung mit freiem Auge gesehenen Linie mit dem derselben Linie, durch das Fernrohr in gleicher Entfernung gesehen, vergleicht (Jacquin in Zeitschr. 2. 101). Endlich schließt man nicht selten aus der Größe der Lichtscheibe, welche am Oculare bei voller Beleuchtung des Objectivs oder eines durch einen Schirm bestimmten Theiles desselben erscheint, indem man letzteren durch erstere theilt. Zum Messen dieser Größe hat man eigene Instrumente. (Ramsden's Dynamometer oder Auzometer.)

Die Theorie des Dynamometers beruht auf einer allgemeinen Eigenschaft jeder Zusammenstellung von Linsengläsern zu einem Fernrohre, die wir hier aus einander setzen wollen, wobei wir jedoch den Fall zum Grunde legen, daß sämmtliche Linsen Sammellinsen seyen und die Strahlen bei jeder derselben divergirend ein- und convergirend austreten, da jeder andere Fall bloß eine Aenderung des Zeichens der Brennweite, der Entfernung des Gegenstandes, oder des Abstandes des Bildes von der Linse mit sich führt. Es seyen Fig. 365, A, A′, A″, A‴ die Mittelpuncte der Linsen, H K das Bild, welches ein sehr entfernter Gegenstand mittelst der ersten Linse A in ihrer Brennweite gibt; H′ K′ das Bild dieses Bildes mittelst der zweiten Linse A′; H″ K″ das Bild von H′ K′ mittelst der Linse A″, welches mittelst der Linse A‴, in deren Brennweite es sich befinde, von einem weitsichtigen Auge betrachtet werde. Bezeichnen wir die Winkel, welche die den Bildern K, K′, K″ eines außerhalb der Axe A A‴ befindlichen Punctes des Gegenstandes entsprechenden Hauptstrahlen A K, K K′, K′ K″, K″A‴ mit der Axe machen, der Reihe nach durch ψ, ψ', ψ'', ψ''' und die Vergrößerungszahl durch m, so ist $m = \frac{\psi'''}{\psi}$. Es sey

$$A H = \alpha,\ A' H' = \alpha',\ A'' H'' = \alpha'' \text{ und}$$
$$H A' = a',\ H' A'' = a'',\ H'' A''' = a''',$$

so ist wegen der Kleinheit der Winkel ψ, ψ', ψ'', ψ''' (vergl. 360)

$$\frac{\psi'}{\psi} = \frac{\alpha}{a'},\ \frac{\psi''}{\psi'} = \frac{\alpha'}{a''},\ \frac{\psi'''}{\psi''} = \frac{\alpha''}{a'''}.$$

Das Product dieser Ausdrücke gibt

$$m = \frac{\alpha \alpha' \alpha''}{a' a'' a'''}.$$

Nun sey MN (Fig. 366) ein in geringer Entfernung von der Linse A aufgestellter Gegenstand, M'N', M''N'', M'''N''', $M^{iv}N^{iv}$ die Reihe der demselben in Bezug auf die Linsen A, A', A'', A''' entsprechenden Bilder, und

$$MA = b,\; M'A' = b',\; M''A'' = b'',\; M'''A''' = b'''$$
$$AM' = \beta,\; A'M'' = \beta',\; A''M''' = \beta'',\; A'''M^{iv} = \beta''';$$

setzen wir ferner den Quotienten $\frac{MN}{M^{iv}N^{iv}} = \mu$, so ist wegen

$$\frac{MN}{M'N'} = \frac{b}{\beta},\; \frac{M'N'}{M''N''} = \frac{b'}{\beta'},\; \frac{M''N''}{M'''N'''} = \frac{b''}{\beta''},\; \frac{M'''N'''}{M^{iv}N^{iv}} = \frac{b'''}{\beta'''}$$

wenn man das Product dieser Ausdrücke bildet,

$$\mu = \frac{b\, b'\, b''\, b'''}{\beta\, \beta'\, \beta''\, \beta'''}.$$

Nun läßt sich leicht zeigen, daß, wenn die Stellung der Linsen im zweiten Falle genau dieselbe ist, wie im ersten, die numerischen Werthe der Zahlen m und μ einander gleich sind. Es ist nämlich offenbar

$$\frac{m}{\mu} = \frac{\alpha\beta \,.\, \alpha'\beta' \,.\, \alpha''\beta'' \,.\, \beta'''}{b \,.\, a'b' \,.\, a''b'' \,.\, a'''b'''}.$$

Nennen wir die Brennweiten der Linsen A, A', A'', A''' der Reihe nach p, p', p'', p''', so bestehen folgende Gleichungen:

$\alpha = p$	$\frac{1}{b} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{p}$
$\frac{1}{a'} + \frac{1}{\alpha'} = \frac{1}{p'}$	$\frac{1}{b'} + \frac{1}{\beta'} = \frac{1}{p'}$
$\frac{1}{a''} + \frac{1}{\alpha''} = \frac{1}{p''}$	$\frac{1}{b''} + \frac{1}{\beta''} = \frac{1}{p''}$
$a''' = p'''$	$\frac{1}{b'''} + \frac{1}{\beta'''} = \frac{1}{p'''}.$

Es ist demnach

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\alpha} \text{ folglich } \frac{1}{b} = \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\beta} = \frac{\beta - \alpha}{\alpha\beta} \text{ und } \frac{\alpha\beta}{b} = \beta - \alpha;$$

ferner ist $\frac{1}{b'} + \frac{1}{\beta'} = \frac{1}{a'} + \frac{1}{\alpha'}$, folglich

$$\frac{1}{b'} - \frac{1}{a'} = \frac{1}{\alpha'} - \frac{1}{\beta'};\; \frac{a' - b'}{a'b'} = \frac{\beta' - \alpha'}{\alpha'\beta'},$$

daher $\frac{\alpha'\beta'}{a'b'} = \frac{\beta' - \alpha'}{a' - b'}$. Eben so findet man

$$\frac{\alpha''\beta''}{a''b''} = \frac{\beta'' - \alpha''}{a'' - b''} \text{ und } \frac{\beta'''}{a'''b'''} = \frac{1}{b''' - a'''}.$$

Hieraus folgt $\frac{m}{\mu} = -\frac{(\beta - \alpha)(\beta' - \alpha')(\beta'' - \alpha'')}{(a' - b')(a'' - b'')(a''' - b''')}$.

Aber wegen der gleichen Abstände der gleichnamigen Linsen in beiden Fällen ist

$$\alpha + a' = \beta + b',\; \alpha' + a'' = \beta' + b'',\; \alpha'' + a''' = \beta'' + b''',$$

mithin

$$a' - b' = \beta - \alpha,\; a'' - b'' = \beta' - \alpha',\; a''' - b''' = \beta'' - \alpha'',$$

daher $\frac{m}{\mu} = -1$ oder $m = -\mu$.

Der Gegensatz der Zeichen kommt bloß von der entgegengesetzten Lage der Bilder in beiden Fällen her. Die Gleichheit der Zahlwerthe von m und μ besteht auch dann noch, wenn man b unendlich klein annimmt, d. h. wenn das Object MN mit der Linse A zusammenfällt, oder diese Linse oder ein bestimmter Theil derselben selbst ist, wie es der Gebrauch des Auzometers mit sich bringt. So wie hier der Beweis der Gleichheit der Werthe von m und μ für vier Linsen gegeben wurde, läßt er sich für jede andere Anzahl von Linsen führen.

370. Die dioptrischen Instrumente haben schon wegen ihrer bequemeren Einrichtung und ihrer größeren Dauer vor den katoptrischen einen großen Vorzug; sollen sie aber in sehr großem Maßstabe verfertiget werden, so findet man ein bis jetzt unübersteigliches Hinderniß an der Schwierigkeit, große homogene Glasstücke zu erhalten, während große Hohlspiegel ohne Vergleich leichter zu haben sind. Amici und Herschel d. j. haben eine Vergleichung zwischen einem guten katoptrischen und einem dioptrischen Instrumente angestellt. Nach Amici leistet ein achromatisches Fernrohr mit der Oeffnung 1 dasselbe, was ein katoptrisches mit der Oeffnung $1^1/_3$ leistet. Nach Herschel ist dieses Verhältniß 5:6, wenn das katoptrische nur einen Spiegel hat, hingegen 7:10, wenn es mit zwei Spiegeln versehen ist.

Von den optischen Instrumenten handeln: Klügel's Dioptrik. Leipzig, 1778. S. 158--251. Practische Dioptrik, von J. J. Prechtl. Wien, 1828. Littrow's mathematische Abhandlungen über Objective und Oculare zu Fernröhren, in Zeitschr. 3. 129. 283; 4. 17, 195. Littrow's Dioptrik. Wien, 1830. *Teorica degli stromenti ottici di J. Santini. 2 Tom. Padova*, 1828.

Ueber die Lehre vom Lichte als objectiven Grund des Sehens überhaupt siehe: *Newtoni optica. Lond.* 1729. 4. Smith, vollständiger Lehrbegriff der Optik. Leipzig, 1755. 4. *R. Boscovich opera pertinentia ad opticam et astronomiam. Bassano* 1785. Priestley's Geschichte der Optik. Leipzig, 1776. 4. *Nuovo trattato d'ottica di L. Nobili. Milano* 1820. 8. *An elementary treatise on Optics by Coddington. Cambridge* 1823. 8. *Herschel on light. London* 1830. *Optics by Dr. Brewster. London* 1831. Schmidt's Optik, herausgegeben von Goldschmidt. Göttingen, 1834. *Airy, Mathematical Tracts. Cambridge* 1831, hierin die Abhandlung *On the Undulatory theory of Optics.* Kunzek, die Lehre vom Lichte. Lemberg, 1836. Handbuch der Optik von Radicke. Berlin, 1839. Dove's Repertorium, 3. Bd. Gehler's Wörterbuch unter verschiedenen Artikeln. Ueber die mathematische Darstellung der Undulationstheorie sind die neueren Abhandlungen von Cauchy in dessen *Exercices d'Analyse et de Physique mathématique* vorzüglich wichtig. Da diese Theorie der Lichterscheinungen sich lediglich auf die Gesetze der schwingenden Bewegung gründet, so ist begreiflich, daß ihre weitere Ausbildung nicht sowohl von neuen Erfahrungen, als von den Fortschritten der theoretischen Mechanik abhängt, die ihrerseits wieder zum Theil durch jene der mathematischen Analysis bedingt werden. Die raschen Fortschritte auf diesem Felde in unseren Tagen lassen erwarten, daß auch die bis jetzt noch weniger aufgeklärten Gegenstände bald ins Reine gebracht werden dürften. Hieher gehören insbesondere die Erscheinungen der Absorption des Lichtes, warum in gewissen Körpern nur gewisse farbige Strahlen fortgepflanzt werden u. dgl., wofür auf theoretischem Wege bereits von Wrede und

Cauchy Bedeutendes geleistet worden ist (s. Pogg. Ann. 33. 353; 39. 40). Ferner der Zusammenhang zwischen den Körpertheilchen und jenen des Aethers u. dgl., worüber Lamé und Lloyd Untersuchungen angestellt haben.

Eilftes Kapitel.

Chemische Wirkungen des Lichtes.

371. Es ist bereits am Eingange dieses Abschnittes angedeutet worden, daß das Licht nicht bloß zur Sichtbarmachung der Gegenstände diene, sondern mannigfaltige chemische und physiologische Wirkungen hervorbringe. Nur von den ersteren, welche namentlich durch die in neuester Zeit gemachten glänzenden photographischen Entdeckungen ein besonderes Interesse erlangt haben, kann hier näher gehandelt werden.

Den Einfluß des Lichtes auf das Gedeihen der organischen Welt bethätigen viele Erscheinungen. Menschen, welche fortwährend in dunklen Oertern wohnen, büßen alle Lebensfülle und das Roth der Gesundheit ein; in Zimmern, Kellern u. s. w. gezogene Pflanzen wenden sich stets nach der lichteren Seite, und bilden sogar Knie, um dem Lichte zu begegnen; viele Pflanzen verlieren die schöne grüne Farbe, wenn man sie mit undurchsichtigen Körpern bedeckt; unter dem Einflusse des Sonnenlichtes allein zerlegen die Blätter und andere Pflanzentheile die aus der Luft oder aus dem Wasser aufgenommene Kohlensäure, eignen sich den Kohlenstoff an und entwickeln Sauerstoffgas, während sie im Finstern die Kohlensäure unverändert von sich geben; das herrliche Farbenspiel der im tropischen Himmelsstriche wachsenden Pflanzen steht gleichfalls mit dem intensiveren Sonnenlichte im Zusammenhange.

372. Das Licht vermag sowohl Verbindungen, wie auch Trennungen der Stoffe einzuleiten. Im Allgemeinen befördert es die Verbindung des Wasserstoffes mit den Haloiden, und die Trennung letzterer, wie auch des Sauerstoffes von den Metallen. So wirken Chlor und Wasserstoff im Dunkeln nicht auf einander. Chlorflüssigkeit, durch Absorption von Chlorgas in Wasser bereitet, hält sich nur im Dunkeln; im Lichte wird das Wasser zerlegt, der Wasserstoff desselben bildet mit dem Chlor Salzsäure und der Sauerstoff entweicht. Setzt man ein Gemenge von trockenem Chlor- und Wasserstoffgas dem Tageslichte aus, so geht die Verbindung beider Stoffe langsam vor sich; im Sonnenlichte aber erfolgt die Verbindung unter heftiger Explosion. Die Salpetersäure wird im Sonnenlichte unter Ausscheidung von Sauerstoff in salpetrige Säure umgewandelt, und färbt sich daher gelb, endlich roth. Gold trennt sich im Sonnenlichte von den Stoffen, mit denen es verbunden ist, theils in metallischer Gestalt, theils als niederes Oxyd; insbesondere sind in dieser Hinsicht die Verbindungen des Silbers mit Jod, Chlor, Brom und andern Stoffen ausgezeichnet, welche durch den Einfluß des Lichtes zerlegt werden, was eine Umwandlung der lichten Farbe der mit Lösungen dieser Körper bestrichenen weißen Papiere in dunkle Farbentöne bewirkt. Da dieß nur an den

Stellen geschieht, wohin Licht kommt, und zwar nach Maßgabe seiner Intensität, so daß die genannte Wirkung, wie Arago's Versuche lehrten, an den dunklen Stellen eines Interferenzspectrums wegfällt, so kann dieselbe nur dem Lichte als solchem zugeschrieben werden. Doch muß man sich hüthen, jene Wirkungen des Sonnenlichtes, welche auf Rechnung seiner erwärmenden Kraft kommen, als primäre Wirkungen des Lichtes anzusehen. Die durch das Licht bewirkten chemischen Erscheinungen werden, wie Edmund Becquerel wahrgenommen hat, von elektrischen Effecten begleitet.

Ueber die chemischen Wirkungen des Lichtes von Suckow. Darmstadt, 1832. Landgrebe, über die chemischen und physiologischen Wirkungen des Lichtes. Marburg, 1834.

373. Die chemischen Wirkungen des Lichtes haben neuestens eine interessante und keineswegs unwichtige Anwendung auf die Erzeugung der sogenannten Lichtbilder gefunden. Obgleich die Idee dazu sich bald, nachdem man die Verdunklung des Chlorsilbers im Sonnenlichte wahrgenommen hatte, darbot, so haben doch erst die Versuche von Niepce und Daguerre einerseits und die von Talbot andererseits der neuen Kunst, welche am schicklichsten Photographie genannt wird, die Bahn gebrochen. Die Hauptleistung dieser Kunst ist die Fixirung der Bilder der Camera obscura auf einem Schirme, dessen Oberfläche für die Einwirkung des Lichtes hinreichend empfindlich ist, um eine Veränderung zu erfahren, die sich durch entsprechende Manipulationen sichtbar machen und bleibend erhalten läßt. Eine untergeordnete Leistung ist das Copiren von Zeichnungen, Kupferstichen, Lithographien, die auf hinreichend durchscheinendem Stoffe, als Glas, Papier u. dgl. gemacht sind, um eine unmittelbare Uebertragung auf den photographischen Stoff im Sonnenlichte zu gestatten. Die bis jetzt erhaltenen Bilder stellen nicht, wie die Werke der Malerei, die natürlichen Farben der Gegenstände dar, sondern sind nur den Bleistift- oder Federzeichnungen, Kupferstichen, Lithographien, überhaupt den mit gleichartigem Colorit ausgeführten Darstellungen vergleichbar, welche bloß die Umrisse der Gegenstände und die Grade ihrer Helligkeit oder die Art der Beleuchtung nachahmen. An einem photographischen Bilde haben entweder die einzelnen Theile dieselbe Lage, wie am abgebildeten Gegenstande, oder es ist diese Lage im Verhältnisse von Rechts zu Links umgekehrt, so wie das Bild in einem ebenen Spiegel, oder der Abdruck einer Kupferplatte gegen die Zeichnung auf der Platte selbst erscheint. Man kann Bilder von der ersteren Art directe, die von der letzteren inverse nennen. Ferner zeigen sich entweder die lichteren Stellen am Originale im photographischen Bilde gleichfalls durch lichtere, die dunklen Stellen oder Schatten am Originale durch dunkle Abstufungen im Bilde repräsentirt, oder es findet gerade das Gegentheil Statt, die Lichter an dem Originale sind im Bilde durch dunkle, die Schatten am Originale durch helle Farbentöne im Bilde gegeben. Man kann die in der so eben genannten Beziehung naturgetreuen Bilder positive nennen, im Gegensatze mit denjenigen, wo Lichter und

Schatten verwechselt sind, welche negative Bilder heißen mögen. Was die photographischen Verfahrungsweisen selbst betrifft, so lassen sie sich nach ihren Urhebern unter zwei Rubriken bringen, welche wir durch die Benennungen Daguerre'sche und Talbot'sche Methode von einander unterscheiden wollen.

374. Das Material, worauf nach der Daguerre'schen Methode (Daguerreotypie) die Lichtbilder dargestellt werden, ist ein Metall, am besten Silber. Man bedient sich dazu einer plattirten, d. i. mit einer Silberschichte bekleideten Kupferplatte. Diese muß eine glatte, gleichförmige, von Rissen oder Furchen freie Oberfläche haben. Man reinigt die Silberfläche auf das Sorgfältigste, indem man sie anfänglich mit Oehl und fein gepulvertem Tripel, dann aber abwechselnd mit sehr verdünnter Salpetersäure und Tripel unter Anwendung von reiner Baumwolle vorsichtig polirt. Unmittelbar vor Anfertigung des Lichtbildes wird die Silberfläche an einem dunklen Orte in einen Kasten gebracht, auf dessen Boden sich Jod befindet, und so lange den Dämpfen dieses Stoffes ausgesetzt, bis die Silberfläche eine tief goldgelbe Färbung angenommen hat. So vorgerichtet setzt man die vor jeder fremdartigen Einwirkung des Lichtes geschützte Platte in die schon vorher gehörig aufgestellte Camera obscura, genau an den Platz des matten Glases, worauf das Bild des darzustellenden Gegenstandes fiel. Nach einer Zeit, die nach Maßgabe der Größe der Oeffnung, durch welche das Licht in die Camera obscura tritt, der Brennweite der Linse und der Stärke der Beleuchtung des Gegenstandes sehr verschieden seyn kann, und der Beurtheilung des Experimentators anheim gestellt bleibt, wird die Platte aus der Camera obscura genommen. Auf der polirten Fläche ist jetzt noch keine Spur eines Bildes zu sehen; wäre dieß der Fall, so hätte die Einwirkung des Lichtes auf selbe in der Camera obscura zu lange gedauert. Bringt man aber die Platte in einen Kasten, auf dessen Boden sich etwas Quecksilber befindet, das man bis zu der Temperatur von 65°—70° C. erwärmt, so erscheint nach wenigen Minuten das Bild. Ist dieses gehörig ausgeprägt, so wird die Platte in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron in Wasser, oder in Ermanglung dieses Salzes in eine, jedoch siedendheiße, gesättigte Kochsalzlösung gelegt, worauf der gelbe Ueberzug der Silberfläche, welcher dem Lichte ausgesetzt sich verändert und zuletzt das Bild unkenntlich gemacht haben würde, verschwindet. Nun wird die Silberfläche noch mit heißem destillirten Wasser abgespült und das Bild ist vollendet. Die Zeichnung auf selbem, welche bei Anwendung einer guten Camera obscura eine Erstaunen erregende Feinheit der Details enthält, wird durch äußerst kleine Quecksilberpartikel gebildet, die an den Stellen des Bildes, welche der stärksten Beleuchtung entsprechen, am dichtesten an einander gehäuft sind. So genommen ist das Bild im Grunde ein negatives, was man auch deutlich wahrnimmt, wenn man es in einer schiefen Richtung gegen das Licht hin betrachtet, so daß das Auge sich in der von der Platte reflectirten Lichtmasse befindet. Steht aber das Auge außer dieser Lichtmasse, so erscheint die nackte Silberfläche in um

so tieferem Schwarz, je mehr sie sich ihrer Politur nach einem vollkommenen Spiegel nähert, während nur die Quecksilbertheilchen allein seitwärts Licht senden, indem sie gleichsam die Rolle von Rauhigkeiten auf der polirten Fläche spielen, die das Licht nach allen Seiten zerstreuen. Somit werden die hellen Partien des Gegenstandes auf dem Bilde durch die hell erscheinende Anhäufung des Quecksilbers gegeben, und man sieht sonach ein positives Bild.

Seit der Bekanntmachung des Daguerre'schen Verfahrens (im Sommer 1839) sind bereits Einzelnheiten desselben zweckmäßig abgeändert worden. Statt des Jods in fester Form wendet man nach Ascherson eine Lösung von Jod in schwachem Weingeiste an, welche man noch mit Wasser mengt; zur Wegschaffung des unveränderten Jodsilbers nach der Exposition der Platte in den Quecksilberdämpfen kann auch kalte Kochsalzlösung dienen, wenn man nach Draper die darein gelegte Platte mit einem Zinkstäbchen berührt. Die wichtigsten Modificationen betreffen aber die Erhöhung der Empfindlichkeit der Platte dadurch, daß man der Jodflüssigkeit etwas Brom zusetzt, oder eine Verbindung von Jod mit Chlor statt reinen Jods anwendet, wie Kratochwila in Wien zuerst gewiesen hat. Bemerkenswerth ist noch die von den Gebrüdern Natterer in Wien wahrgenommene außerordentliche Empfindlichkeit einer gelb jodirten Platte, nachdem selbe einige Augenblicke über schwaches Chlorwasser gehalten wurde, bis selbe eine röthliche Färbung angenommen hat. Durch derlei Modificationen in Verbindung mit der Erhöhung der Lichtstärke der Camera obscura durch die von Prof. Petzval berechneten zusammengesetzten Objective, welche eine viel größere Oeffnung, als einfache oder gewöhnliche achromatische Linsen gestatten, ohne der Schärfe des Bildes Eintrag zu thun, wurde es möglich, die zur gehörigen Einwirkung des Lichtes nöthige Zeit auf wenige Secunden zu reduciren und Probleme zu lösen, welche von dieser Vervollkommnung wesentlich abhängen, z. B. die Zustandebringung von Porträten, überhaupt die Darstellung von Gegenständen, welche in einem Zustande der Veränderung begriffen sind u. dgl. Rechnet man hiezu die viel versprechenden Versuche von Prof. Berres in Wien, die Lichtbilder durch zweckmäßige Aetzmittel zum Kupferdrucke tauglich zu machen, und die glücklichen Resultate, welche man bereits in der Vervielfältigung ähnlicher Gebilde auf galvanoplastischem Wege erhalten hat, so dürfte die Hoffnung einer künftigen ernsthaften technischen Anwendung der noch so jungen Kunst nicht ungegründet erscheinen.

375. Talbot's Methode gründet sich auf den Gebrauch eines besonders zubereiteten, für das Licht sehr empfindlichen Papieres, welches er kalotypes Papier nennt. Es wird nämlich gutes Schreibpapier mit einer schwachen Lösung von salpetersaurem Silberoxyd in Wasser (100 Gr. Salz in 12 Loth Wasser) auf einer Seite bestrichen, getrocknet, sodann in eine wässerige Lösung von Jodkalium (500 Gr. in 30 Loth destillirtem Wasser) getaucht und wieder getrocknet, nachdem es zuvor durch gewöhnliches Wasser gezogen worden. Dieß Papier nennt Talbot »jodirtes« Papier. Es wird vor dem Lichte geschützt aufbewahrt. Zum photographischen Gebrauche wird es in einem finstern Orte mit einer Mengung gleicher Raumtheile zweier Flüssigkeiten, nämlich einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd (100 Gr.

in 4 Loth destillirtem Wasser), der man concentrirte Essigsäure (den sechsten Theil des Volums) zugesetzt hat, und einer gesättigten Lösung von Gallussäure überstrichen. Diese Mengung wird, da die Flüssigkeiten auf einander einwirken, nur in geringer Quantität, so wie es der Gebrauch fordert, vorgenommen. Das so zubereitete Papier ist das kalotype Papier, und muß alsogleich verwendet werden. Nach kurzer Einwirkung des Lichtes sieht man auf selbem keine oder nur eine schwache Spur des Bildes; dasselbe tritt aber kräftig hervor, wenn man das Papier noch einmal mit vorgenannter Mengung überstreicht und hierauf gelinde erwärmt. Zur Fixirung des Bildes wird es mit einer Lösung von Bromkalium (100 Gr. in 16—20 Loth Wasser) behandelt. Dies Bild ist ein negatives. Um ein positives Bild zu erhalten, wird es noch einmal übertragen, indem man es auf ein ähnliches Papier zwischen zwei Glasplatten legt und dem Sonnenlichte aussetzt. War das Bild, wie es die Camera obscura ohne Spiegel gibt, ein inverses, so wird die Copie zugleich direct. (*Phil. Mag.* 19. 164.)

Minder empfindlich als das kalotype sind die gewöhnlichen photographischen Papiere. Unter diesen steht das Bromsilberpapier oben an; nach ihm folgt das Chlorsilberpapier. Man erhält selbe, wenn man ein gutes Schreibpapier zuerst mit einer schwachen Lösung von salpetersaurem Silberoxyd überstreicht und sodann mit einer Bromkalium- oder mit einer Kochsalzlösung, oder auch mit letzterer Salzlösung zuerst und dann mit der Lösung des Silbersalzes. Solches Papier kann auch zum Copiren der auf kalotypem Papiere erzeugten Bilder statt eines andern kalotypen, und zwar wie Talbot angibt, noch mit größerem Vortheile für die Schönheit der Bilder angewendet werden. Die Talbot'sche Methode ist, in sofern es sich um reine Bilder handelt, bei Weitem schwieriger auszuführen, als die Daguerre'sche, auch bieten die nach selber erhaltenen Bilder keine solche Feinheit der Details dar.

376. Sehr bemerkenswerth ist es, daß nicht alle das weiße Licht zusammensetzenden farbigen Strahlen eine gleiche Fähigkeit besitzen, chemische Wirkungen hervorzubringen. Dieß hat schon Scheele beobachtet, und alle späteren Versuche haben die Richtigkeit dieser Beobachtung auf das Augenscheinlichste bestätiget. Rothes Licht wirkt nämlich auf ein photographisches Papier, welches früher noch von keinem andern Lichte getroffen wurde, so gut wie gar nicht, eben so wenig auf ein Gemenge von Chlorgas und Wasserstoffgas; kaum merklicher ist die Wirkung des gelben Lichtes; erst grünlichblaues Licht bringt eine merkliche Wirkung hervor; die Fähigkeit, chemische Veränderungen hervorzurufen, kommt vorzugsweise nur dem blauen und violetten Ende des Spectrums zu, ja sie zeigt sich sogar außerhalb dieser Grenze, so daß man genöthigt ist, die Existenz von Strahlen im weißen Lichte anzunehmen, die unser Auge nicht afficiren, aber chemische Effecte hervorzubringen vermögen, und brechbarer sind als die violetten Strahlen. Man kann sie chemische Strahlen nennen. Gefärbte Gläser hemmen die chemische Wirkung des Lichtes in dem Maße, in welchem sie die brechbareren Strahlen absorbiren. Höchst merkwürdig ist die Entdeckung von Edmund Becquerel, daß

rothe und gelbe Strahlen, welche Bromsilberpapier, das noch von keinem Lichte getroffen worden, nicht afficiren, eine sichtliche Wirkung zur Folge haben, sobald dies Papier nur wenige Augenblicke dem Tageslichte ausgesetzt war, mithin gleichsam den von den wirksamen Strahlen begonnenen Effect fortsetzen. (Pogg. Ann. 54. 43.)

Aus dem Umstande, daß nicht alle Lichtstrahlen in chemischer Hinsicht gleich wirksam sind, folgt, daß die Lichtbilder in Hinsicht auf Licht und Schatten nicht vollkommen naturgetreu seyn können. Auffallend ist die Unempfindlichkeit der Daguerre'schen Platten und der photographischen Papiere in der Camera obscura für das Grün der Blätter der Pflanzen, was offenbar darin seinen Grund hat, daß dieselben vorzugsweise die chemischen Strahlen im Sonnenlichte zum Behufe des Zerlegungsprocesses der Kohlensäure als einer Function ihres organischen Lebens absorbiren, und somit sehr wenige derselben reflectiren. Auch auf die Richtigkeit der Porträte hat die ungleiche chemische Kraft der farbigen Strahlen einigen Einfluß. In sofern chemisch minder wirksame Strahlen einen vorangegangenen Effect wirksamer Strahlen fortzusetzen vermögen, wäre es räthlich, bei photographischen Versuchen die jodirte Platte nicht zu sorgfältig vor dem Lichte zu bewahren.

Vierter Abschnitt.

Wärme.

Erstes Kapitel.

Von der Wärme überhaupt.

377. Die bisher besprochenen Kräfte und Agentien reichen nicht aus, um alle in der Natur vorkommenden Erscheinungen zu erklären, und wir sind insbesondere genöthiget, zu den drei bereits betrachteten sogenannten Imponderabilien, Magnetismus, Elektricität und Licht noch ein viertes, nämlich das Wärmeprincip anzunehmen.

Es war im vorhergehenden Theile dieses Werkes schon mehrmal die Rede von Wirkungen der Erwärmung und Erkältung, und es sind als solche Aenderung des Rauminhaltes und des Aggregationszustandes der Körper und Erregung einer eigenthümlichen Empfindung, die der Wärme und Kälte, bezeichnet worden. Letztere können sehr wohl als Folge der vorhergegangenen Ausdehnung und Zusammenziehung der Gefühlsorgane betrachtet werden, und es bleiben daher nur die ersteren als unmittelbare objective Effecte der Erwärmung und Erkältung übrig. Näher betrachtet erkennt man diese leicht als bloße Veränderungen in der Stellung und gegenseitigen Entfernung der kleinsten Körpertheile, und es erscheint sonach das Wärmeprincip, von dieser Seite angesehen, als eine der Molecularanziehung entgegenwirkende, abstoßende Kraft. Es haben sich in der That einige Physiker dadurch veranlaßt gefunden, das Wärmeprincip als bloße abstoßende Kraft zu betrachten. Andere, welche diese Hypothese zur Erklärung der Wärmeerscheinungen nicht zureichend glaubten, nahmen eine eigenthümliche, feine, in der Natur verbreitete ätherische Flüssigkeit an, die sie Wärmestoff (caloricum) nannten, und von der sie voraussetzten, daß sie sich mit den Körpern verbinde und durch ihre Ausdehnsamkeit auf selbe wirke. In der neueren Zeit hat die große Analogie zwischen den Licht- und Wärmeerscheinungen mehrere Physiker zu der schon früher aufgestellten, aber wieder verlassenen Hypothese zurückgeführt, vermög welcher die Wärme das Resultat einer eigenthümlichen vibrirenden Bewegung des Aethers ist. Wir wollen vor der Hand die Frage über die Natur des Wärmeprincips ganz beseitigen und es schlechtweg Wärme nennen. Wiewohl man mit die-

sem Worte auch die Empfindung, welche von der Erwärmung herrührt, bezeichnet, so besorgen wir doch keine Verwechslung dieser zwei Bedeutungen desselben Wortes, indem der Sinn jedes Satzes wohl zeigt, ob die eine oder die andere Bedeutung gemeint sey.

378. Alle Erscheinungen der Wärme deuten auf ein Bestreben derselben hin, sich sowohl an den verschiedenen Theilen desselben Körpers, als in einem Systeme mehrerer Körper ins Gleichgewicht zu setzen und sich demnach von einem materiellen Theilchen zum anderen zu bewegen. Die Gesetze dieser ihrer Bewegung sind wesentlich verschieden, je nachdem sie die Theile der Körper, durch welche sie geht, erwärmt oder nicht. Im letzteren Falle erscheint die Wärme strahlend wie das Licht. Weder die Bewegung noch das Gleichgewicht der Wärme wird bloß durch die Wirkung des Wärmeprincips auf sich selbst bestimmt, sondern beide hängen von dieser Wirkung und zugleich von der Action der Molekel der Körper auf die Wärme und umgekehrt ab. Darum hat sowohl auf die Bewegung als auf das Gleichgewicht der Wärme die Natur der betreffenden Körper Einfluß.

379. Die Wärme wird uns beständig von außen zugleich mit dem Lichte zugeführt und verläßt uns wieder, indem sie theils in die Luft übergeht, theils in Strahlen dem Weltraume zugesendet wird. Man kann sie durch besondere Verfahrungsarten hervorrufen und hat demnach verschiedene Quellen der Wärme, so wie man verschiedene Quellen der Elektricität kennt. Es ist nicht wahrscheinlich, daß dabei immer nur die in den Körpern schon enthaltene Wärme entwickelt wird, sondern man hat Grund zu glauben, selbe werde bei mehreren solchen Erregungsarten wirklich erzeugt.

Zweites Kapitel.

Wärmecapacität und specifische Wärme.

380. Jeder Körper enthält unter allen Umständen Wärme in sich und man kennt keinen, der als ganz wärmeleer betrachtet werden könnte. Absolute Kälte, d. h. gänzlicher Mangel an Wärme scheint gar nicht in der Natur zu existiren. Abgesehen von jeder Voraussetzung über das Wesen des Wärmeprincipes läßt sich doch von der Menge der Wärme reden, ja sogar diese sich auf ein bestimmtes Maß zurückführen. Obwohl man es als eine klare Sache betrachten darf, daß die Menge der in einem Körper enthaltenen Wärme, bei übrigens durchaus gleichen Umständen, von dessen Masse abhängt, und zwar ein Körper bei doppelter Masse die zweifache, bei dreifacher Masse die dreifache Menge Wärme in sich faßt; so ist doch der Gesammtbetrag der einem Körper zukommenden Wärme kein unserer Untersuchung zugänglicher Gegenstand, sondern diese bezieht sich bloß auf die Differenzen des Wärmegehaltes der Körper, d. h. auf die Wärmemengen, welche dieselben aufnehmen oder abgeben. Zum Messen der Wärme kann jeder

Effect dienen, den man als eine reine Wirkung der Wärmemenge ansehen und dessen Größe man dieser Menge proportional setzen darf. Dergleichen Effecte sind: das Schmelzen einer bestimmten Menge Eis, die Erhöhung der Temperatur einer bestimmten Masse oder eines bestimmten Volums eines Stoffes um eine festgesetzte Anzahl Grade von einem festgesetzten Puncte angefangen u. dgl. Man braucht da sich nur über die Masse oder das Volum zu verständigen, worauf die Wärmemenge, die man als Einheit gelten lassen will, sich bezieht, um jede andere Wärmemenge durch eine Zahl ausdrücken zu können. Diese Zahl wird dann durch die Masse oder das Volum angegeben, woran die zu messende Wärmemenge den vorgeschriebenen Effect hervorbringt. Am einfachsten ist es, diejenige Wärmemenge = 1 zu setzen, welche eine Masseneinheit Eis von 0° C. in Wasser von 0° C zu verwandeln vermag. Dieser Annahme zu Folge sind die Wärmemengen 2, 3, 10.. diejenigen, welche 2, 3, 10.. Masseneinheiten Eis auf gleiche Weise zu schmelzen vermögen.

381. Die Erfahrung lehrt, daß wenn an einem Körper keine allzugroßen Temperaturänderungen vor sich gehen, die dabei ins Spiel tretenden Wärmemengen den Temperaturdifferenzen proportional angenommen werden können. Dieß vorausgesetzt heißt die Wärmemenge, welche ein Körper von der Masse = 1 oder vom Volum = 1 braucht, um eine Temperaturerhöhung von 1° zu erfahren, seine specifische Wärme, und die Fähigkeit, diese Wärme aufzunehmen, seine Wärmecapacität. Gewöhnlich wird die specifische Wärme und die Capacität auf die Masse = 1 bezogen, und wenn man sie auf das Volum = 1 bezieht, pflegt man dieses ausdrücklich zu erwähnen. Die Capacitäten sind den specifischen Wärmen proportionirt; man nimmt gewöhnlich die Capacität des reinen Wassers als Einheit an, und mißt die der übrigen Körper mit diesem Maße. Hat daher ein Körper eine 2, 3mal ꝛc. größere Capacität als jene des Wassers, so ist seine Capacität auch gleich 2, 3 ꝛc. Heißt die Capacität eines Körpers C, seine specifische Wärme S, jene des Wassers σ; so hat man $S : \sigma = C : 1$ oder $S = C\sigma$.

382. Die Wärmecapacität fester und tropfbarer Körper läßt sich durch mehrere Mittel bestimmen. Eines der einfachsten besteht darin, daß man den betreffenden Körper bis zu einem bestimmten Grade erhitzt, ihn hierauf in eine bestimmte Menge Wasser oder in eine andere Flüssigkeit von bekannter Temperatur senkt, und die gemeinschaftliche Temperatur des Gemenges bestimmt, wenn das Gleichgewicht der Wärme hergestellt ist. Es ist klar, daß der Körper, dessen Capacität auf diesem Wege erforscht werden soll, nicht in der Flüssigkeit, worein man ihn taucht, auflöslich seyn und sich nicht in Berührung mit derselben erhitzen oder erkälten dürfe. Auch ist nicht zu vergessen, daß dieses Verfahren nur in soferne richtig ist, als sich die Capacität der Flüssigkeit nicht mit der Temperatur ändert. Mit voller Sicherheit ist dieses nur bei Temperaturen der Fall, deren Differenz nicht gar groß ist; darum darf auch zwischen der Temperatur des betreffenden

Körpers und der Flüssigkeit, worein man ihn taucht, keine große Differenz Statt finden. Um aber doch bei kleinen Temperaturunterschieden mit größeren Wärmequantitäten zu thun zu haben, wählt man Körper von großen Massen. Ueberdieß muß man auf den Wärmeverlust durch das Gefäß und die Abkühlung während der Zeit des Versuches Rücksicht nehmen.

Es werde Wasser von 0° C. mit einer gleich großen Masse Eisenfeile von 36° vermengt und die Temperatur des Gemenges = 4° gefunden. Da bringt nun die Wärmemenge, welche die Temperatur des Eisens um 36 — 4 = 32° erhöht, im Wasser nur eine Temperaturerhöhung von 4° hervor, und Eisen braucht daher achtmal weniger Wärme als Wasser, um dieselbe Temperaturerhöhung zu erfahren, oder seine Capacität ist $\frac{1}{8} = 0{,}125$. Wenn die Massen der zwei zu mengenden Körper ungleich sind, wird man nicht so leicht durch bloßes Raisonnement zum Ziele gelangen, sondern man muß zu diesem Ende eine eigene Rechnung führen. Hat der wärmere Körper die Masse M, die Capacität C, und vor dem Versuche die Temperatur T, der kältere die Masse m, die Capacität c, und vor dem Versuche die Temperatur t; ist ferner die stationäre Temperatur des Gemenges nach dem Versuche τ und die specifische Wärme des Wassers σ: so hat der erstere die Wärmemenge $MC(T-\tau)\sigma$ verloren, der andere die Wärmemenge $mc(\tau-t)\sigma$ gewonnen, und es ist

$$MC\sigma\,(T-\tau) = mc\sigma\,(\tau-t) \text{ oder } \frac{C}{c} = \frac{m(\tau-t)}{M(T-\tau)}.$$

Auf diesem Wege kann man auch den Werth von σ finden. Man menge eine Quantität Eis = m von der Temperatur 0° C., und eine Wassermenge M von der Temperatur T, die hinreicht, alles Eis zu schmelzen, und bemerke die Temperatur t der Mischung. Eine Masseneinheit Eis braucht zum Schmelzen die Wärmemenge 1, mithin die Eismasse m die Wärmemenge m; dem aus Eis entstandenen Wasser ist hier die Wärmemenge $mt\sigma$ zugewachsen, und das ursprünglich vorhandene Wasser hat die Wärmemenge $M(T-t)\sigma$ verloren. Dieß gibt die Gleichung

$$m + mt\sigma = M(T-t)\sigma, \text{ woraus } \sigma = \frac{m}{M(T-t)-mt}$$

folgt. Der wirkliche Versuch gibt $\sigma = \frac{1}{75}$.

383. Ein anderes Mittel, die Capacität zu bestimmen, beruht darauf, daß ein warmer Körper bei übrigens gleichen Umständen desto schneller bis zur Temperatur seines Mittels abkühlt, je kleiner seine Capacität ist. Um durch dieses Mittel zu einem richtigen Resultate zu gelangen, muß man die Körper, um die es sich handelt, mit gleicher Oberfläche versehen, und zu diesem Ende jeden derselben in ein fein polirtes, metallenes Gehäuse einschließen, bis zu einem bestimmten Grade erwärmen, ihn dann sammt dem Gehäuse im luftleeren Raume bis zu einem bestimmten Grade abkühlen lassen, und die Zeit bestimmen, die er dazu braucht. Diese Zeit steht im geraden Verhältnisse mit seiner Capacität. Dieses Verfahren hat J. T. Mayer kennen gelehrt, und Dulong und Petit haben es mit Vortheil angewendet; doch gibt es nur für Körper, welche die Wärme leicht abgeben, brauchbare Resultate.

384. Ein drittes Mittel beruht auf der Bestimmung der Eismenge,

die ein Körper zu schmelzen vermag. Man braucht zu seiner practischen Ausführung ein eigenes Instrument, welches Laplace und Lavoisier angegeben und Calorimeter genannt haben. Dieses besteht aus zwei Gefäßen (Fig. 367), wovon eines in dem anderen steckt. Das innere B dient zur Aufnahme des zu untersuchenden Körpers A und des zu schmelzenden Eises, während das äußere C bloß zum Behälter desjenigen Eises bestimmt ist, das den erwärmenden Einfluß der äußeren Umgebung auf das innere Eis abhalten soll. Das innere Gefäß hat unten ein kleines Behältniß D, welches mit einem Hahne verschlossen und durch ein Sieb vom oberen Theile getrennt ist; es dient zur Aufnahme des Wassers, das aus dem inneren Eise entsteht. Beim Gebrauche wird zuerst der Zwischenraum zwischen beiden Gefäßen mit klein zerstoßenem Eise von 0° C. angefüllt, und auch das Innere fast ganz damit versehen. Hierauf kommt der Körper A hinein, und zwar, wenn er fest ist, in ein netzartiges Gefäß, wenn er tropfbar ist, in eine eigens dazu bestimmte Büchse; der übrige Raum wird mit Eis erfüllt, der Deckel aufgesetzt, auch mit Eis belegt, die Zeit abgewartet, bis A die Temperatur 0° C. hat, die vom inneren Eise entstandene Wassermenge genau bestimmt und hieraus die Capacität von A berechnet. Ist C die Capacität des Körpers, mit dem man den Versuch anstellt, T seine anfängliche Temperatur und M seine Masse, σ die specifische Wärme des Wassers, so ist $MTC\sigma$ seine Wärmemenge. Wird eine Eismasse $= N$ von 0° C. geschmolzen, so ist die Zahl N zugleich die dazu nöthig gewesene Wärmemenge, und man hat demnach

$$MTC\sigma = N \text{ und hieraus } C = \frac{N}{MT\sigma}.$$

Ist die zu untersuchende Masse in einem Netze oder einer Büchse enthalten, so muß man auch die Wärme, welche der Behälter an das Eis abgibt, in Rechnung bringen. Ist m die Masse dieses Gefäßes, t seine Temperatur, c seine Capacität, ferner N' die ganze von der Masse M sammt dem Gefäße geschmolzene Eismenge; so hat man offenbar

$$\sigma(MCT + mct) = N' \text{ und } C = \frac{N' - mct\sigma}{MT\sigma}.$$

Auch hier kann man σ bestimmen, indem man $C = 1$ setzt; man erhält $\sigma = \frac{N'}{MT - mct}$.

385. Durch diese Mittel hat man folgende Gesetze der Capacitäten kennen gelernt: Verschiedene feste und tropfbare Körper haben auch verschiedenen Capacitäten. Mit der Aenderung der Dichte und Cohärenz ändert sich auch die Capacität. Wenn die Dichte geringer wird, es mag dieses durch Erhöhung der Temperatur oder durch irgend ein mechanisches Mittel bewirket werden, steigt die Capacität, jedoch immer nur um einen kleinen Theil ihres anfänglichen Werthes. Wenn ein fester Körper weich zu werden anfängt, erlangt seine Capacität einen höheren Werth. Man sollte wohl füglich die Wärmecapacität immer nur bei einer bestimmten Dichte und Cohärenz ausdrücken, und jede Zunahme, welche die Verminderung der Dichte und Festigkeit be-

gleitet, als Ausdehnungs- und Erweichungswärme besonders betrachten. Da sich die Art des Zusammenhanges der Körpertheile oft plötzlich stark ändert, so ist auch eine sprungweise Veränderung der Wärmecapacität begreiflich.

Pouillet (Pogg. Ann. 39. 573) hat die Capacität des Platins für verschiedene Temperaturen gefunden, wie folgt: bei 100° C. = 0,03350, bei 200° = 0,03392, bei 500° = 0,03518, bei 1000° = 0,03728, bei 1200° = 0,03812. Nach Regnault's, Larive's und Marcet's Versuchen ist die Capacität der Kohle desto geringer, je dichter selbe ist; ersterer fand die Capacität der Holzkohle = 0,24150, der Coak von Cannel-Kohle = 0,20307, des Graphits aus Gasröhren = 0,20360, des Diamants = 0,14687. Letzteren Gelehrten ergab sich die Capacität der Terpentinöhlkohle 0,1801, der Zuckerkohle 0,1592. Regnault überzeugte sich, daß gut geschmiedetes Kupfer durchschnittlich die Capacität 0,09478, dasselbe aber gehämmert die Cap. 0,9346, hierauf aber wieder in der Rothglühhitze angelassen, die Cap. 0,09486 habe. Blei und Zinn ändern durch Harthämmern nicht ihre Capacität, aber auch nicht ihre Dichte.

386. Eine sehr merkwürdige Relation hat man zwischen dem Atomgewichte der Körper und ihrer specifischen Wärme kennen gelernt. Dulong und Petit haben nämlich zuerst nachgewiesen, daß sich die specifische Wärme der chemisch einfachen Stoffe verkehrt wie ihre Atomgewichte verhalte und daß demnach das Product aus dem Atomgewichte in die specifische Wärme eine constante Größe sey. Neumann und neuestens Regnault haben dieses merkwürdige Gesetz noch mehr erweitert, und man kann es als bewiesen ansehen, daß die specifischen Gewichte aller zusammengesetzten Körper von gleicher atomistischer und ähnlicher chemischer Zusammensetzung im verkehrten Verhältnisse ihrer Atomgewichte stehe, oder daß das Product aus ihrem Atomgewichte in ihre specifische Wärme für alle solche Körper gleich sey. Dieses Product ist offenbar die Wärmemenge, welche ein Atom braucht, um eine Temperaturerhöhung von 1° C. zu erfahren, und man kann demnach sagen, die Atome aller chemisch einfachen Stoffe für sich, und die atomistisch gleich und chemisch ähnlich zusammengesetzten wieder für sich, enthalten bei gleichen Temperaturen auch gleich viel Wärme. Eine andere sehr merkwürdige Relation hat Schröder nachgewiesen. Er zeigt, daß die specifische Wärme eines zusammengesetzten Körpers die Summe der specifischen Wärmen seiner Bestandtheile in jenem Condensationszustande sey, in welchem sie in dieser Verbindung vorkommen.

Der Durchschnittswerth aus dem Producte des Atomgewichtes in die specifische Wärme ist für chemisch einfache Stoffe, die man im Zustande der größten Reinheit untersuchen konnte, in runder Zahl 41, für Oxyde von der Zusammensetzung RO (wo R die Base, O den Sauerstoff bezeichnet) = 72, von der Zusammensetzung R_2O_2 = 170, von der Zusammensetzung RO_2 = 86; für Schwefelmetalle RS = 74, für R_2S_3 = 191, für RS_2 = 129, für Chlormetalle R_2Cl_2 = 159, für RCl_2 = 117, für RCl_4 = 233; für salpetersaure Salze $N_2O_5 + R_2O$ = 302, für schwefelsaure $SO_3 + RO$ = 166, für kohlensaure $CO_2 + RO$ = 134. Diese Zahlen drücken demnach auch die zur Erwärmung eines

Atomes um 1° C. nöthige Wärme aus, jene für eine Wassermasse von dem Gewichte des Sauerstoffatoms nöthige = 1 gesetzt. Folgende Tabelle enthält mehrere Capacitätsangaben fester und tropfbarer Körper:

Name.	Capacität.	Name.	Capacität.
Wasser	1,0000	Quecksilberoxyd . .	0,0518
Kohlenst. (Diamant) .	0,1469	Bittererde	0,2439
Jod	0,0541	Thonerde (Saphir) .	0,2173
Schwefel	0,2026	Schwefeleisen . . .	0,1357
Selen	0,0837	Schwefelblei . . .	0,0509
Phosphor zwischen		Schwefelzinn . . .	0,0837
0° — 38°	0,1887	Chlornatrium . . .	0,2140
Eisen	0,1138	Chlorkalium . . .	0,1730
Zink	0,0955	Salpetersaures Kali .	0,2388
Kupfer	0,0952	» » Natrum	0,2782
Silber	0,0570	Schwefelsaurer Kalk .	0,1966
Blei	0,0314	» » Bittererde	0,2216
Wismuth	0,0308	Kohlensaures Kali .	0,2162
Antimon	0,0508	» » Natrum	0,2728
Zinn v. Borneo . .	0,0562	Alkohol sp. G. = 0,817	0,6666
Platin gewalzt . . .	0,0324	Schwefeläther sp. G.	
Gold	0,0324	= 0,818	0,5433
Quecksilber	0,0333	Olivenöhl	0,4385
Kupferoxyd	0,1420	Terpentinöhl . . .	0,462
Eisenoxyd	0,1669	Kuhmilch	0,9999

Merkwürdig ist es, daß das Wasser unter allen Körpern die größte Capacität hat, die Metalle aber in dieser Beziehung sehr tief stehen. Quecksilber hat z. B. eine 30mal kleinere Capacität als Wasser, ein Umstand, der dieses Metall zur Anwendung für Thermometer besonders empfiehlt. Thierische Flüssigkeiten kommen dem Wasser am nächsten.

387. Die Bestimmung der Capacität ausdehnsamer Körper unterliegt eigenthümlichen Schwierigkeiten, welche darin ihren Grund haben, daß solche Körper die Wärme so schwer annehmen und abgeben und daß man nicht leicht mit großen Massen derselben arbeiten kann. Folgendes Verfahren gilt so ziemlich allgemein für das annehmbarste: Man leitet das gut getrocknete Gas, nachdem man es in einem mit kochendem Wasser umgebenen Gefäße auf 100° C. gebracht hat, in einem langsamen, gleichförmigen Strome in ein Rohr, das in schlangenförmigen Windungen durch einen abgeschlossenen Wasserbehälter geht, und läßt es am anderen Ende des Rohres wieder entweichen. Das Gas erhöht die Temperatur des Wassers bis zu dem Grade, wo es demselben eben so viel Wärme zuführt, als das Wasser an die Umgebung abgibt, und bei diesem Grade bleibt die Temperatur stationär. Je mehr Wärme das Gas dem Wasser zuführt, desto höher wird diese stationäre Temperatur seyn, und da von verschiedenen Gasen bei der Gleichförmigkeit des Stromes in derselben Zeit gleiche Volume durchströmen; so werden die Temperaturerhöhungen, welche die Wassermasse erfahren hat, den Wärmemengen proportionirt seyn,

welche gleiche Volume verschiedener Gase an dasselbe abgegeben haben, d. h. sie werden mit den Capacitäten der Gase für gleiche Volume in geradem Verhältnisse stehen. Will man aus diesen die Verhältnisse der Capacitäten für gleiche Gewichte finden, so braucht man sie nur mit der Dichte der betreffenden Gase zu dividiren. Man kann diese Methode auch auf Dämpfe anwenden, wenn man vorläufig dem Kühlwasser die Temperatur gibt, bei welcher sich die Dämpfe gebildet haben und dadurch der Zersetzung derselben vorbaut.

388. Durch die eben besprochene Untersuchungsmethode erhält man die Verhältnißzahlen der Capacitäten ausdehnsamer Körper. Man legt derselben in der Regel als Einheit die Capacität der atmosphärischen Luft zum Grunde, und drückt die Capacität der anderen Gase und Dämpfe nach dieser Einheit aus. Um sie aber an die Capacitäten der festen und tropfbaren Körper anschließen zu können, die sich insgesammt auf die Capacität des Wassers als Einheit beziehen, muß man erst das Verhältniß der Capacität eines Gases, z. B. der atmosphärischen Luft, zu Wasser ausmitteln. Dieses geschieht dadurch, daß man eine bestimmte Quantität atmosphärischer erhitzter Luft durch Wasser streichen läßt, die letzterem hiedurch zu Theil gewordene Erwärmung ausmittelt, und so nach dem Gesetze der Mischungsmethode die Capacität der Luft gegen Wasser sucht.

389. Auf diesem Wege lernt man die Capacitäten der ausdehnsamen Körper unter dem beim Versuche obwaltenden Drucke kennen. Experimentirt man bei verschiedenem Drucke, so erfährt man den Einfluß einer größeren oder geringeren Dichte des betreffenden Körpers, aber immer kann sich dabei der Körper während des Abkühlens zusammenziehen. Man erfährt daher die Capacität *unter einem bestimmten beständigen Druck und bei veränderlichem Volumen.* Wäre es thunlich, die Capacität eines Gases dadurch auszumitteln, daß man es, in einem Ballone von constantem Volumen eingeschlossen, sammt dem Gefäße mit kaltem Wasser in Berührung brächte und beide eine gemeinschaftliche Temperatur annehmen ließe, oder daß man durch dasselbe Eis schmelzte, oder endlich es in einem constanten Mittel abkühlen ließe; so würde man die Capacität bei *constantem Volumen* erfahren. Keine dieser Untersuchungsmethoden gibt aber ein hinreichend genaues Resultat, und man hat kein anderes Mittel, die Capacität eines Gases bei constantem Volumen auszumitteln, als indem man das Verhältniß dieser Capacität zu jener unter constantem Drucke und veränderlichem Volumen sucht, woraus dann, da man letztere aus directen Versuchen kennt, erstere leicht berechnet werden kann.

Man hat zur Bestimmung des Verhältnisses der beiden hier besprochenen Capacitäten zwei Mittel, und zwar eines, welches auf der bei der Zusammendrückung des Gases Statt findenden Erwärmung beruht, und ein anderes, welches aus der Geschwindigkeit des Schalles in diesem Gase hergenommen ist. Ersteres ist keiner großen Präcision fähig und wird daher auch hier übergangen; letzteres beruht auf dem Satze, daß

die Geschwindigkeit des Schalles in gasförmigen Mitteln durch die Formel $v = \sqrt{\left(\frac{E}{D}(1 + \alpha T)\frac{c}{c'}\right)}$ ausgedrückt wird, wo c die Capacität unter constantem Druck, c' die unter constanten Volumen ausdrückt, die übrigen Buchstaben aber die in I. 348 angegebenen Bedeutung haben. Findet man demnach die Schallgeschwindigkeit entweder durch directe Versuche oder durch Beobachtung der Tonhöhe einer Gassäule, so man alles zur Berechnung des Werthes von

$$\frac{c}{c'} = \frac{v^2 D}{E(1 + \alpha T)}.$$

390. Durch die nun angegebenen Mittel hat man folgende Gesetze der Capacitäten der Gase kennen gelernt: Die chemisch einfachen Gase haben für gleiche Volume und unter constantem Drucke eine gleiche Capacität, und zwar dieselbe wie atmosphärische Luft; die Capacität der zusammengesetzten Gase ist von jener der einfachen verschieden und hat auch für jedes dieser Gase einen besonderen Werth. Je geringer der Druck ist, unter welchem ein Gas steht, desto größer ist seine Capacität, doch wächst letztere nicht in dem Verhältnisse, in welchem der Druck abnimmt, sie ist z. B. für atm. Luft bei dem auf die Hälfte reducirten Drucke nur um $^1/_{10}$ größer, und wird erst durch 18fache Verdünnung der Luft verdoppelt. Die Capacität für gleiche Gewichte und bei constantem Drucke ist bei verschiedenen sowohl einfachen als zusammengesetzten Gasen verschieden. Die Capacität bei constantem Volumen ist kleiner als die bei constantem Drucke, und zwar im Verhältnisse von 1,42 : 1. Dieses Verhältniß scheint nicht bloß für alle Gase zu gelten, sondern auch von der Temperatur derselben unabhängig zu seyn.

Folgende Tabelle enthält die Zahlenwerthe der Capacitäten mehrerer Gase:

Name des Gases.	Cap. für gleiche Vol.	Cap. für gleiche Gewichte	
		Luft = 1	Wasser = 1
Atmosphärische Luft	10000	10000	0,2669
Sauerstoff	10000	0,9069	0,2421
Wasserstoff	10000	14,5348	3,8793
Stickstoff	10000	1,0318	0,2754
Kohlenoxyd	10000	1,0267	0,2740
Stickstoffoxydul	1,227	0,8035	0,2145
Kohlensäure	1,249	0,8195	0,2187
Oehlbildendes Gas	1,754	1,7898	0,4777
Wasserdampf	1,960	3,1360	0,8370

391. Die Kenntniß der Wärmecapacität eines Körpers ist in vielen Beziehungen sehr wichtig. Unter andern dient sie auch dazu, die Größe der Temperaturänderung zu berechnen, welche ein Körper von bekannter Masse durch Zuthat einer bestimmten Quantität Wärme erleidet. Ist nämlich m die Masse, c die Capacität eines Körpers, so erfährt er durch Zuthat von der Wärmemenge q die Temperaturerhö-

hung $\delta = 75 \frac{q}{m c}$, wie aus der Natur der Sache leicht derivirt werden kann.

Kennt man die Capacität, Natur und Temperatur eines Körpers, so kann man immer die Wassermasse finden, welche bei gleicher Temperatur gleich viel Wärme enthält und daher mit jenem Körper in thermischer Hinsicht gleichwerthig ist. Heißt nämlich die Masse eines Körpers m, seine Capacität c, so ist die gleichwerthige Wassermasse $M = mc$. Die ersten Spuren des Begriffes von specifischer Wärme finden sich in Deluc's Schriften, bestimmt leitete ihn aber zuerst Wilke (1772) her, und gab selbst eine Methode zur Bestimmung der specifischen Wärme an, doch scheinen Black in Edinburgh und Irvine in Glasgow früher diesen Gegenstand bearbeitet zu haben, wiewohl die Resultate ihrer Versuche erst im Jahre 1779 durch Crawford's darauf gebaute Theorie bekannt wurden. Ueber Capacität und specifische Wärme siehe: La Roche und Bérard in *Ann. de Chim.* 85. 72. Dulong und Petit in *Ann.. de Chim. et de Phys.* 10. Neumann in Pogg. Ann. 23. 1. Avogadro in *Ann. de Chim.* 55. 38. Regnault in Pogg. Ann. 51. 44, 213; 53. 61, 243; Larive und Marcet in Pogg. Ann. 10. 363, 52. 120; Dulong ebend. 16. 442. Schröder ebend. 52. 269. Bredow über das Verhältniß der specifischen Wärme zum chemischen Mischungsgewichte. Berlin 1838. *Suermann Dissert. phys. inaug. de calore fluidorem elasticorum Traj. ad Rhen.* 1836.

Drittes Kapitel.

Bewegungsgesetze der Wärme. (Thermodynamik.)

392. Die Wärme strebt beständig nach Gleichgewicht. Befindet sich demnach ein warmer Körper in einer minder warmen Umgebung, so theilt er dieser fortwährend Wärme mit, bis alles auf eine gleiche Temperatur gebracht ist. Diese Mittheilung erfolgt aber auf zweifache Weise; entweder bewegt sich die Wärme von einem materiellen Theilchen zum anderen, indem sie jedes derselben erwärmt und eines dem anderen in Folge seiner höheren Temperatur Wärme zufließen läßt, oder es theilt ein Körper einem entfernt von ihm befindlichen Wärme mit, ohne die zwischen liegenden zu afficiren. Jede dieser zwei Arten der Mittheilung erfolgt nach eigenen Gesetzen, um deren Auseinandersetzung es sich hier handelt.

A. Gesetze der strahlenden Wärme.

393. Schon im Jahre 1777 hat Scheele gezeigt, daß ein empfindliches Thermometer, welches einem offenen Kaminfeuer gegenüber, in einiger Entfernung von demselben aufgestellt ist, merklich steige, sobald es von den Strahlen des Feuers getroffen wird. Dieses Steigen kann nicht etwa von erwärmter Luft herrühren, denn es unterbleibt selbst dann nicht, wenn die Temperatur der Luft im Zimmer

so niedrig ist, daß man den Athem sieht; auch ist es von jedem Luftzuge unabhängig und erfolgt gleichmäßig, das Thermometer mag was immer für einen Stand gegen den Kamin haben, wenn es nur vom Feuer directe Strahlen empfangen kann. Ob es von der durch das Feuer erwärmten aufsteigenden Luft getroffen wird oder nicht, kommt hier gar nicht in Betracht. Demnach muß die besagte Erwärmung des Thermometers von etwas herrühren, das wie das Licht vom brennenden Körper ausgeht und sich geradlinig fortpflanzt. Das Licht des Feuers selbst kann es nicht seyn, denn hält man eine Glastafel zwischen das Thermometer und das Feuer, so hört alle Wärmeeinwirkung auf das Thermometer augenblicklich auf, ungeachtet man durch das Glas das Feuer gut sehen kann, mithin das Licht vom Glase durchgelassen wird. Die Wirkung eines glühenden Metallstückes ist der eines Kaminfeuers vollkommen ähnlich, und diese Wirkung dauert, wiewohl in geringerem Grade noch fort, wenn auch das Metall schon längst aufgehört hat zu glühen; ja wenn das Thermometer sehr empfindlich ist, so kann man selbst bei einem Gefäß mit heißem Wasser, wo doch gewiß kein Leuchten Statt findet, eine Wirkung auf ein Thermometer in die Ferne bemerken. Man ist demnach genöthiget, anzunehmen, daß von dem heißen oder warmen Körper Strahlen ausfahren, welche sich geradlinig wie das Licht fortpflanzen, die wieder Wärme zu erregen im Stande sind, und darum auch Wärmestrahlen heißen.

394. Wiewohl die Gesetze der strahlenden Wärme von mehreren berühmten Physikern eifrig studirt wurden, wie z. B. von Pictet, Lambert, Rumford, Leslie; so hat doch keiner seinen Untersuchungen so wichtige Resultate abgewonnen, wie die neuesten Forscher in diesem Gebiete, Melloni und Forbes; insbesondere dem ersteren verdanken wir den gegenwärtigen blühenden Zustand dieses Zweiges der Physik. Es stand ihm aber zu seinen Arbeiten ein Instrument zu Gebote, welches alle früher bekannten an Empfindlichkeit und Präcision der Angaben weit übertrifft, nämlich die Thermosäule (S. 486). Sein Apparat ist in Fig. 368 abgebildet. A ist die mit einem sehr gut eingerichteten und höchst empfindlichen Multiplicator verbundene, an beiden Enden mit Kienruß geschwärzte Thermosäule, B ein Postament, worauf man den wärmestrahlenden Körper anbringen kann, C ein Tischchen für Körper, durch welche die Wärmestrahlen gehen müssen, bevor sie zur Säule gelangen, D ein Schirm mit einer Oeffnung, um gerade nur einen gewissen Strahlenkörper durchzulassen, E ein anderer um eine Charniere beweglicher Schirm, der schnell zur Seite gebogen und leicht wieder vor die Säule gestellt werden kann, um nach Umständen die Wärmestrahlen von der Säule schnell abhalten, und wieder dahin gelangen lassen zu können. Oft befindet sich auch auf der entgegengesetzten Seite der Säule ein Schirm, um da alle Wärmestrahlen möglichst von ihr abzuhalten. Zu besonderen Zwecken und zwar um die Einwirkung schwacher Wärmestrahlung auf die Säule zu verstärken, hat man einen conischen Aufsatz an der Vorder-

seite der Säule. Wesentlich ist es, daß man die jedem Grade der Ablenkung der Magnetnadel entsprechende Temperaturerhöhung durch vorläufige Versuche ausgemittelt habe.

Die von Melloni bei den neuesten seiner Versuche gebrauchte Säule bestand aus 35 Paaren prismatischer Antimon- und Wismuthstäbchen von 32 Mill. Länge, 2,5 Mill. Dicke und 1 Mill. Breite. Diese bildeten ein Prisma mit ebenen Endflächen von 4,240 Q. Cent., welches in einem Kupferring befestiget war. Beide Enden der Säule waren geschwärzt, der durchlöcherte Schirm hatte eine Oeffnung von 4 Q. C. Der Multiplicator enthielt ganz eisenfreien Kupferdraht und Windungen, welche durchgehends mit der Lage der Magnetnadel im Stande des Gleichgewichtes parallel waren und 2/3 des Theilkreises deckten. Dieser Kreis hatte 5 C. Durchmesser und die Bedeutung jedes Grades der Ablenkung der astatischen Magnetnadel ward vorläufig durch Versuche gefunden. In früherer Zeit bediente man sich zu Untersuchungen über die strahlende Wärme gewöhnlicher Thermometer, erst Rumford und Leslie führten die sogenannten Differenzialthermometer bei solchen Untersuchungen ein. (Rumford in Gilb. Ann. 17. 33. Kurzer Bericht von Versuchen und Instrumenten ꝛc. von Leslie. Leipzig 1823). Nobili hat zuerst den Gebrauch der Thermosäule empfohlen. Ein Differenzialthermometer besteht im Allgemeinen aus einer zu zwei parallelen Armen aufgebogenen Glasröhre, die an jedem Ende mit einer Glaskugel versehen ist Die Luft in der einen Kugel ist von jener in der anderen durch eine tropfbare Flüssigkeit gettennt und diese dient zugleich als Zeiger für das Volum der Luft in der einen und anderen Kugel. Die weitere Construction kann auf zweierlei Weise geschehen. Nach der einen sind die Luftvolume in den zwei Kugeln veränderlich, und es findet nur Gleichgewicht Statt, wenn in beiden dieselbe Spannkraft herrscht; nach der anderen hat die Luft in beiden Kugeln immer nahe dasselbe Volum, aber eine verschiedene Expansivkraft, und das Gleichgewicht kann nur durch den Druck einer kürzeren oder längeren tropfbaren Säule hergestellt werden. Ein Thermometer der ersten Art hat kurze, aufwärts gebogene Schenkel und ein langes Zwischenstück, es fordert eine ziemlich weite Röhre, einen kurzen Index, und die ganze Scale fällt in das Zwischenstück; die Temperaturdifferenzen sind den Unterschieden der Luftvolume proportionirt. Von der Art ist Rumford's Differenzial-Thermometer (Thermoskop) Fig. 369. Ein Thermometer der zweiten Art hat lange Schenkel mit einem ganz kurzen Zwischenstücke, die Röhre ist enge, die Flüssigkeit füllt einen Schenkel ganz bis in die Kugel, den anderen nur zum Theile, und die Scale fällt ganz in den längeren aufrechten; die Differenz des Druckes dieser zwei Säulen entspricht dem Temperaturunterschiede. Von dieser Art ist Leslie's Differenzial-Thermometer (Fig. 370). Bei letzterem ist die Flüssigkeit gefärbte Schwefelsäure. Nimmt man dazu eine flüchtige Flüssigkeit, z. B. Aether, wie dieses Schmidt und Howard gethan haben, so enthält die Luft noch Dünste derselben, und es wird im Falle der Erwärmung einer Kugel nicht bloß die Expansivkraft der Luft und der Dünste größer, sondern es entstehen von letzteren auch neue; das Instrnment wird dadurch empfindlicher, kann aber nicht mehr, oder wenigstens nicht auf so einfache Art, wie eines der vorigen graduirt werden. Seit man die Thermosäule kennt, sind diese Instrumente ganz in den Hintergrund getreten und werden nur mehr selten gebraucht.

395. Wenn man successiv verschiedene Körper bei gleichen und bei ungleichen Temperaturen auf ein Ende der Thermosäule wirken läßt,

während deren anderes Ende gegen jede Wärmestrahlung durch einen Schirm geschützt ist; so kann man aus der Größe der Ablenkung der Magnetnadel die wärmestrahlende Kraft (Strahlungs- oder Emissionsvermögen) jener Körper entnehmen. Auf solchem Wege erfährt man, daß sich das Ausstrahlungsvermögen eines Körpers unter übrigens gleichen Umständen nach seiner Temperatur und nach der Natur seiner Oberfläche richtet. Je höher die Temperatur des strahlenden Körpers, desto größer sein Strahlungsvermögen; die Temperatur des diesen Körper umgebenden Mittels hat darauf keinen Einfluß. Metalle besitzen dieses Vermögen in höherem Grade als deren Oxyde, Wasser in höherem als Glas, dieses in höherem als Papier. Aendert man durch einen, wenn auch nur dünnen Ueberzug oder durch einen Anstrich die Natur der Oberfläche, so ist dadurch auch schon das Strahlungsvermögen modificirt. Selbst die Härte und Elasticität hat darauf einen großen Einfluß. Wird ein Metall durch Hämmern oder Walzen polirt, so erfährt zugleich die an der Oberfläche liegende Schichte eine Härtung, und dadurch eine Veränderung des Ausstrahlungsvermögens. Da ein Poliren mittelst eines Schleifpulvers keine solche Veränderung mit sich führt, so bleibt es auch ohne Einfluß auf das Strahlungsvermögen. Nimmt man aber die härtere und mehr elastische Schichte einer auf die erstere Art polirten Metallfläche durch Ritzen, Feilen 2c. weg, so erhöht man das Strahlungsvermögen wieder auf den ursprünglichen Grad, während eine solche Operation an einem durch ein Polirpulver geglätteten Metalle keine Erhöhung des Strahlungsvermögens zur Folge hat. Körper, welche beim Poliren durch was immer für ein Mittel keine Härtung erleiden, wie z. B. Marmor, Elfenbein, besitzen demnach auch im polirten und rauhen Zustande dasselbe Strahlungsvermögen. (Melloni in Pogg. Ann. 45. 57.)

Sehr lehrreich ist in Bezug auf den Einfluß der Natur der Oberfläche auf Wärmestrahlung ein Versuch, den zuerst Leslie mit Hülfe seines Differenzialthermometers, neuestens aber auch Melloni mittelst der Thermosäule angestellt hat. Man bringt der Säule gegenüber in nicht zu großer Entfernung davon und nachdem man den conischen Aufsatz aufgesetzt hat, ein cubisches Gefäß an, das dünne Blechwände hat, deren jede mit einer anderen Substanz überzogen ist, füllt das Gefäß mit Wasser und erhitzt es mittelst einer Weingeistlampe. Da bemerkt man nun verschiedene Ablenkungen der Magnetnadel, je nachdem man der Säule die eine oder die andere Seite des doch allenthalben gleich warmen Gefäßes zuwendet. Melloni fand so das Ausstrahlungsvermögen von Kienruß = 100 gesetzt, jenes von Bleiweiß = 100, Hausenblase = 91, Tusch = 85, Gummilack = 72, einer Metallfläche = 12. (Pogg. Ann. 35. 572.)

396. Man kann nicht allen von einem Puncte eines Körpers ausfahrenden Wärmestrahlen dieselbe Intensität zuschreiben, ja man hat Grund anzunehmen, daß die schief ausfahrenden im Verhältnisse des Sinus ihres Ausstrahlungswinkels minder intensiv seyen. Wenigstens erklärt es sich daraus, daß eine ebene Scheibe auf die Thermosäule eben so wirken kann, wie eine gleich warme und an der Oberfläche gleich beschaffene Kugel, ungeachtet letztere mehr Ausstrahlungspuncte

der Säule zuwendet und ihr darum auch mehr Strahlen zusenden muß. Vom Ausstrahlungspuncte aus gehen die Wärmestrahlen durch den leeren Raum sowohl als durch Luft oder Dampf unabhängig von deren Bewegung geradlinig vorwärts, mit einer Geschwindigkeit, die jener des Lichtes selbst wahrscheinlich nicht viel nachsteht und sich nach Wrede's neuesten Versuchen zu derselben wie 4:5 verhalten soll. Die Strahlen divergiren nach Maßgabe des zurückgelegten Weges und üben auf einen Körper eine im verkehrten Verhältniß des Quadrates ihrer Entfernung vom Ausstrahlungspuncte kleinere Wirkung aus.

Schon Lambert (dessen Pyrometrie S. 197) hat gefunden, daß fünf Thermometer, welche er der Wärme einer Glutpfanne in den Entfernungen 12,63, 23,05, 34,51, 46,25, 58,10 ausgesetzt hatte, eine Erwärmung von respective 15°,3, 4°,7, 2°,0, 1°,1, 0°,7 erfahren (das genannte Gesetz verlangt eine Erwärmung von 15°,3, 4°,6, 2°,0, 1°,1, 0°7). Melloni (Pogg. Ann. 39. 566) hat nach seiner Methode in den Entfernungen 60, 70, 100 die Erwärmungen 28,73, 21,10, 10,34 gefunden, die obigem Gesetze fast ganz genau entsprechen.

397. Gelangt ein Wärmestrahl an die Grenze eines Mittels, so erleidet er daselbst mehrere sehr merkwürdige Modificationen, deren jede nach besonderen Gesetzen vor sich geht. Es wird nämlich an dieser Grenze ein Theil regelmäßig, eine anderer zerstreut zurückgeworfen, wieder ein anderer dringt in das neue Mittel ein, und wird entweder durchgelassen oder ganz oder theilweise in demselben absorbirt. Der durchgelassene Theil wird unter den gehörigen Bedingungen von seiner geraden Bahn abgelenkt (gebrochen). Sowohl der reflectirte als der gebrochene Antheil erhält zugleich unter den gehörigen Umständen einen eigenthümlichen Charakter, jenen der Polarisation. Somit erleidet ein Wärmestrahl auf seinem Wege nahe dieselben Modificationen wie ein Lichtstrahl.

398. Körper, welche Wärmestrahlen durchlassen und sich demnach gegen dieselben so verhalten, wie durchsichtige Stoffe gegen das Licht, werden diathermane genannt. Ob ein Körper zu den diathermanen gehöre oder nicht, so wie die Gesetze der Diathermanität, erfährt man leicht durch einen Versuch mit der Thermosäule. Bringt man dieser gegenüber in einer bestimmten Entfernung eine constante Wärmequelle an, welche ihre Strahlen auf eine Endfläche der Säule sendet, während die andere Fläche gegen die Einwirkung strahlender Wärme geschützt ist; so erfährt man aus der Ablenkung der Magnetnadel die Größe der Wärmestrahlung dieser Wärmequelle. Bringt man hierauf zwischen dieser und der Säule einen polirten Metallschirm an, so kehrt die Magnetnadel schnell wieder in ihre natürliche Stellung zurück, zum Beweise, daß der Metallschirm keine Wärmestrahlen durchlasse, mithin atherman sey. Vertauscht man aber diesen Schirm mit einer Glas- oder Glimmerplatte, so wird alsogleich eine Ablenkung der Magnetnadel bemerklich, zum Beweise der Diathermanität der jetzt gebrauchten Platte. Aus dem Verhältnisse der Ablenkung mit und ohne Schirm kann man das Verhältniß der von letzterem durchgelasse-

nen zu den von der Wärmequelle ausgehenden Strahlen ermitteln. Versuche dieser Art lehren, daß die Diathermanität eines Körpers mit seiner Durchsichtigkeit in gar keiner Relation stehe. Manche Körper, wie z. B. Steinsalz, Kalkspath, Gips, Alaun, sind fast in gleichem Grade durchsichtig, aber sehr verschieden diatherman, das dunkelbraune Schwefelchlorid ist diathermaner als die wasserhelle Schwefelsäure, Olivenöhl diathermaner als Wasser, ja schwarzes Glas ist bei 1 L. Dicke nicht mehr durchsichtig, aber noch stark diatherman, und Kienruß gehört zu den ganz undurchsichtigen, aber auch zu den stark diathermanen Körpern; doch ist die Mehrzahl der durchsichtigen Körper auch diatherman. Der diathermanste aller bekannten Körper ist das Steinsalz. Ein und derselbe Körper ist in der Regel für Strahlen, die von einer heißen Wärmequelle kommen, mehr diatherman, als für solche, die eine minder heiße Quelle aussendet. Ein aus grünen (mit Kupferoxyd gefärbten) Glasplatten zusammengesetzter, mit Wasser gefüllter Behälter läßt nur Licht, aber gar keine Wärme durch, ein solcher linsenförmiger Behälter wirkt also im Brennpuncte selbst bei stärkster Beleuchtung nicht wärmend.

399. Die Wärmestrahlen werden beim Eintritt in einen diathermanen Körper unter den gehörigen Umständen g e b r o c h e n. Stellt man vor einer Thermosäule, und zwar außer ihrer Axe, eine Wärmequelle, z. B. eine heiße Metallplatte auf, die ihre Wärmestrahlen der Säule nicht direct zusenden kann, so erfolgt natürlich auch keine Ablenkung der Magnetnadel des Apparates. Bringt man aber zwischen der Säule und der Wärmequelle ein dreiseitiges Prisma von einem sehr diathermanen Stoffe, z. B. von Steinsalz an; so findet man bald eine solche Stellung desselben, wo die Magnetnadel eine Ablenkung erfährt, zum Beweise, daß die Wärmestrahlen vom Prisma durch Brechung auf die Säule gebracht worden seyen. Man kann auf diesem Wege sogar erfahren, daß die von heißeren Wärmequellen herkommenden Wärmestrahlen eine größere Ablenkung durch das Prisma erfahren, als die von minder heißen Quellen ausgesendeten, und demnach auf solche Weise sogar eine Verschiedenheit in den Strahlen heißer und minder heißer Körper erkennen. Aus dem Gesagten ist klar, daß man mittelst einer Sammellinse aus Steinsalz selbst dunkle Wärme im Focus concentriren kann, ja es läßt sich sogar zeigen, daß die Erhitzung im Focus einer den Sonnenstrahlen ausgesetzten Glaslinse nicht von der Concentration der Lichtstrahlen, sondern nur von jener der Wärmestrahlen herrühre.

400. Die in einen diathermanen Körper eindringenden Wärmestrahlen erleiden auf ihrem Wege in diesem Körper in der Regel eine Schwächung, indem ein Theil derselben der strahlenden Kraft beraubt, d. h. a b s o r b i r t wird. Diese Absorption steht natürlich mit der Diathermanität im verkehrten Verhältnisse. Es hängt das Absorptionsvermögen eines Körpers von seiner Natur und von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab. Je härter und elastischer derselbe ist, desto weniger Wärme wird absorbirt. Körper, welche beim Poliren eine Veränderung der ober-

flächlichen Schichten erleiden, erlangen zugleich dadurch ein geringeres Absorptionsvermögen, und in so ferne kann man von der Politur der Oberfläche auf ein geringes Absorptionsvermögen schließen. Ein dicker Körper absorbirt mehr Wärme als ein minder dicker, es wird aber nicht in jeder der gleich dicken Schichten eines diathermanen Körpers von den eindringenden Strahlen derselbe aliquote Theil absorbirt, sondern in den ersteren Schichten mehr als in den folgenden, und es kann kommen, daß Strahlen, welche der absorbirenden Kraft der ersteren Schichten entgangen sind, in den folgenden gar keine Absorption mehr erleiden, und daher der Körper für die von der ersteren Absorption übrig gebliebenen Strahlen als vollkommen diatherman erscheint. Eben so lehrt die Erfahrung, daß Strahlen, die in einem diathermanen Mittel bereits durch Absorption eines Theiles geschwächt worden sind, oft ein anderes Mittel von bestimmter Natur durchfahren können, ohne eine weitere Schwächung durch Absorption zu erleiden. In einer Reihe hinter einander folgender diathermanen Mittel erleiden Wärmestrahlen dieselbe Absorption, in was immer für einer Ordnung die Mittel auf einander folgen mögen.

401. Wenn man die absorbirende Kraft eines diathermanen Körpers für Wärmestrahlen, welche verschiedene Wärmequellen aussenden, untersucht; so überzeugt man sich, daß diese Kraft für Strahlen verschiedener Wärmequellen auch verschieden ist, gerade so, wie farbige Mittel mit verschiedenen absorbirenden Kräften auf verschiedene Lichtstrahlen wirken. Aber eben so, wie man die Lichtstrahlen, welche in demselben Mittel eine verschiedene Absorption erleiden, von einander verschieden annimmt, so muß man es mit den Wärmestrahlen thun. Es muß daher zugelassen werden, daß es mehrere Arten von Wärmestrahlen gebe, die sich durch ihre verschiedene Absorbirbarkeit von einander unterscheiden. Man schreibt den Körpern, in so ferne sie die Fähigkeit besitzen, gewissen Wärmestrahlen den Durchgang zu gestatten, andere aber zu absorbiren, Diathermansie zu, und unterscheidet diese wesentlich von der Diathermanität, welche die Fähigkeit eines Körpers bezeichnet, von den einfallenden Wärmestrahlen irgend einen aliquoten Theil durchzulassen. Erstere Fähigkeit verhält sich demnach zur letzteren, wie die Durchsichtigkeit eines Körpers zu seiner Färbung. Man kennt gegenwärtig nur einen Körper, der alle Gattungen Wärmestrahlen gleich leicht durchläßt, mithin ohne Diathermansie ist, nämlich das Steinsalz. In der Regel sind mit Diathermansie begabte Körper durchgängiger für Strahlen aus Wärmequellen hoher Temperatur, welche zugleich die mehr brechbaren sind; allein es gilt dieses nicht allgemein, wie denn wirklich ein mit Ruß geschwärztes Steinsalzplättchen den Strahlen aus Quellen niederer Temperatur leichteren Durchgang gestattet, als denen von Quellen höherer Temperatur. Man kennt keine Eigenschaft der Körper, mit denen die Diathermansie in nothwendiger Verbindung stünde. Umstände, welche die Diathermanität afficiren, wie z. B. Färbung eines Glases, wirken darum nicht schon auch auf die Diathermansie.

402. Es mag ein Körper diatherman seyn oder nicht, so erleidet doch ein darauf fallender Wärmestrahl an der Eintrittsfläche immer eine theilweise Reflexion, und nie dringt alle einfallende Wärme ins neue Mittel ein. Ist der Körper an der Seite, wo er von Wärmestrahlen getroffen wird, glatt und polirt, so geht die Reflexion genau nach den Gesetzen vor sich, welche das Licht befolgt, nämlich es liegt der reflectirte Strahl in der Einfallsebene, und der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich. Man überzeugt sich davon, wenn man eine polirte Metalltafel schief der Thermosäule gegenüber stellt, und in einiger Entfernung davon eine Wärmequelle so anbringt, daß, wenn sie Licht aussendete, die reflectirten Strahlen die Säule treffen würden. Da bemerkt man nämlich auch eine Einwirkung auf die Magnetnadel, und kann, wenn nach der Hand die Wärmequelle der Säule direct gegenüber gestellt wird, mit Berücksichtigung der etwaigen Verschiedenheiten in den Entfernungen, die Wirkung der reflectirten Strahlen mit jener der directen vergleichen. Auf diesem Wege erfährt man, daß nur glatte und polirte Flächen die Wärme regelmäßig reflectiren, daß metallische Körper mehr Wärme zurückwerfen als nicht metallische, daß Härte und Elasticität der Oberfläche, wie diese häufig beim Poliren der Metalle zu Wege gebracht wird, eine Vergrößerung des Reflexionsvermögens zur Folge hat, ferner daß dieses Vermögen von der Diathermansie des reflectirenden Mittels ganz unabhängig ist.

Aus dem Vorhergehenden ist klar, daß man in dem Brennpuncte eines Hohlspiegels, der ein großes Reflexionsvermögen besitzt, wie dieses bei getriebenen, gut polirten Metallspiegeln der Fall zu seyn pflegt, die Strahlen eines heißen Körpers concentriren und daher mit einem solchen hohe Temperaturen hervorbringen könne. Werden zwei derlei Spiegel einander gegenüber gestellt und wird in den Brennpunct des einen ein fester Körper gebracht, so zeigt sich im Brennpuncte des anderen eine bedeutende Erhitzung. Wird ein solcher Spiegel mit der spiegelnden Fläche gegen den Himmel gekehrt und im Brennpunct ein Thermometer angebracht; so zeigt sich im Laufe der Nacht eine bedeutende Erkältung, wenn der Himmel heiter ist, während bei bewölktem Himmel davon nichts bemerkt wird. Die Reflexion der Wärmestrahlen hat zuerst Mariotte im Jahre 1686 nachgewiesen, den Versuch mit zwei Spiegeln aber zuerst Zahn in Wien angestellt.

403. Rauhe und matte, sowohl diathermane als athermane Flächen bewirken keine regelmäßige Reflexion der Wärmestrahlen, sondern zerstreuen einen Theil derselben nach allen Richtungen. Weiße Körper und rauhe Metalle besitzen diese zerstreuende Kraft in besonders hohem, Kienruß in besonders geringem Grade. Merkwürdig ist es, daß die zerstreuende Reflexion (Diffusion) gleich der Absorption für Strahlen verschiedener Art in der Regel verschieden ist, während die regelmäßige Reflexion von der Natur der Wärmestrahlen gar nicht abhängt, so, daß demnach durch die Zerstreuung die Absorption um die ganze zerstreut reflectirte Wärmemenge vermindert wird.

404. Faßt man die hier dargestellten Modificationen der strahlenden Wärme zusammen, so sieht man, daß man in Bezug auf diese

wenigstens bildlich mehrfache Vermögen der Körper annehmen müsse, nämlich ein Emissions- oder Strahlungs-, ein Reflexions-, Diffusions-, Transmissions-, Brechungs- und Absorptionsvermögen. Diese stehen in gewissen Relationen zu einander. Alles, was das Emissionsvermögen vergrößert, vermindert das Reflexions- und Diffusionsvermögen; letztere beide zusammen stehen im verkehrten Verhältnisse mit dem Absorptions- und im geraden mit dem Transmissionsvermögen. Durch diese Relation der einzelnen Vermögen wird es möglich, daß in einem Systeme von Körpern eine Gleichheit der Temperatur erzielt und erhalten werden könne. Man kann davon auch mehrfache in theoretischer und practischer Hinsicht wichtige Anwendungen machen.

Es falle ein homogenes Strahlenbündel von der Intensität I senkrecht auf einen diathermanen Körper von der Dicke m, und es gehe davon durch regelmäßige und zerstreuende Reflexion der Antheil aI verloren. Da tritt nun der Theil $I(1-a)$ ins neue Mittel ein. Wird in jeder Schichte von der Dicke $= 1$ der Theil μ absorbirt, so ist der Strahl $I(1-a)$, nachdem er n Schichten zurückgelegt hat, durch Absorption auf die Intensität $I(1-a)(1-\mu)^m$ reducirt. Wird von diesem beim Austritte aus dem betreffenden Mittel der Theil a_1 ins Innere zurückgeworfen, so ist die Intensität des das Mittel verlassenden Strahles $I(1-a)(1-a_1)(1-\mu)^m = A$. Wäre der Strahl beim ersten Eintritte nicht homogen gewesen, so würde man für jeden heterogenen Büschel eine solche Gleichung erhalten, und in jeder hätte μ einen der Natur des Strahles entsprechenden Werth. Geht der aus dem Mittel austretende homogene Strahl in ein zweites von derselben Natur, aber von der Dicke n, so hat er beim Austritte aus diesem den Intensitätswerth $A(1-a)(1-a_1)(1-\mu)^n = I(1-a)^2(1-a_1)^2(1-\mu)^{m+n}$. Auf ähnliche Weise erhält man für diesen Strahl, wenn er w Platten von der Dicke m, n, p, q, aber von einerlei Natur durchfahren hat, den Ausdruck $I(1-a)^w(1-a_1)^w(1-\mu)^{m+n+p+q+\cdots}$. Ein vollkommen diathermanes Plättchen kann als unendlich dünn angesehen werden; man hat $m = 0$ und daher $A = I(1-a)(1-a_1)$, oder wenn es beiderseits von demselben Mittel begrenzt ist $A = I(1-a)^2$. Von der Art ist ein in der Luft befindliches Steinsalzplättchen. Für ein solches zeigen Versuche $A = 0{,}923$, wenn $I = 1$ gesetzt wird, woraus man findet $a = 0{,}0393$ oder nahe $^1/_{400}$. Demnach verliert man an einem solchen Plättchen durch Reflexion an den beiden Grenzflächen nahe $^1/_{400}$ der auffallenden Strahlen.

Die erwähnten Gesetze der strahlenden Wärme lehren auch, daß man Körper, welche die Wärme zusammenhalten sollen, wie z. B. Dampfcylinder, Wärmeleitungsröhren, Feuerschirme, am besten mit metallischer, stark glänzender Oberfläche versieht, solche, die Wärme absorbiren sollen, am besten mit Kienruß schwärzt; daß man zarte Pflanzen schon durch eine leichte Bedeckung vor Frost schützen kann. Auch der Nutzen der Winterfenster, Doppelthüren, weiten Kleider, der Pelzwerke und Federbedeckung, des Schnees rc. wird aus den Gesetzen der strahlenden Wärme, insbesondere aus der bei jedem Wechsel des Mittels Statt findenden theilweisen Reflexion erklärbar.

405. Man kann füglich annehmen, daß Körper bei jeder Temperatur Wärme ausstrahlen. In einem Systeme von Körpern erhält demnach jeder von dem andern Wärmestrahlen und sendet jedem von seinem

eigenen Vorrathe zu, und ein Steigen der Temperatur eines Theiles dieses Systems muß davon herrühren, daß dieser Theil mehr ihm zugesendete Wärme absorbirt, als er ausstrahlt, ein Erkalten vom Gegentheile. Gleichgewicht der Temperatur ist demnach der Zustand, wo jeder eben so viel Wärme empfängt, als er abgibt, und somit von dem, was man sonst so nennt, wesentlich verschieden. Man nennt es darum auch bewegliches Gleichgewicht. Auf diesem beruht die scheinbare Reflexion der Kälte durch zwei einander zugekehrte Hohlspiegel.

406. Die bisher besprochenen Modificationen der strahlenden Wärme beziehen sich auf die Richtung und Intensität der Wärmestrahlen; es gibt aber auch eine solche Modification derselben, welche nicht diese Beziehung hat, nämlich die Polarisation. Die Mittel, deren man sich bedient, um Licht zu polarisiren, dienen auch zur Polarisirung der Wärmestrahlen. Dünne Glimmerblätter lassen bekanntlich eine große Menge von Wärmestrahlen von jeder Gattung leicht durch, und man kann sich solche Plättchen leicht durch Spalten dickerer Platten mittelst Erhitzen über Kohlenfeuer verschaffen. Eine Säule von 30 — 120 solcher Plättchen in der Lage angewendet, die sie in ihrem natürlichen Zusammenhange haben, läßt die mittelst einer Steinsalzlinse parallel gemachten Strahlen einer Wärmequelle kaum mehr durch, wenn solche senkrecht auffallen; so wie man aber die Strahlen schief auffallen läßt, wird alsogleich ein Theil derselben durchgelassen. Dieser Theil wächst mit der Größe des Neigungswinkels bis zu einer gewissen Grenze, wo er ein Maximum erreicht. Bei einer Säule aus 120 sehr dünnen Plättchen tritt dieses Maximum bei einem Einfallswinkel von $33^1/_2{}^0$, also beim Winkel der vollkommenen Polarisation des Lichtes ein. Bei einer größeren Anzahl Plättchen ist die Menge der in Maximo durchgelassenen Strahlen geringer, und erfolgt auch bei einem kleineren Einfallswinkel. Diese Erfahrung beweiset, daß die Wärmestrahlen in den ersteren Plättchen der Glimmersäule durch Brechung die Eigenschaft erlangt haben, die folgenden ohne Schwächung zu durchdringen, mithin durch Brechung polarisirt worden seyen. Nimmt man zwei gleiche Glimmersäulen aus dünnen Plättchen, läßt durch die erste etwa unter 45° Wärmestrahlen gehen und fängt die austretenden mit der zweiten unter demselben Winkel auf; so gestattet sie den Wärmestrahlen den Durchgang, wenn die Einfallsebenen in beiden Säulen mit einander parallel gehalten werden; so wie man aber diesen Parallelismus aufhebt, vermindert sich die Menge der durchgelassenen Wärme, und sie sinkt auf das Minimum herab, wenn beide Einfallsebenen auf einander senkrecht stehen. Statt die Strahlen durch die erste Glimmersäule zu leiten, kann man sie auch von einer solchen unter dem Polarisationswinkel reflectiren lassen, und man wird sehen, daß die von der zweiten Säule durchgelassenen Strahlen ihr Maximum erreichen, wenn beide Einfallsebenen auf einander senkrecht stehen, hingegen das Minimum, wenn jene Ebenen einander parallel sind. Es wird demnach die Wärme durch Brechung und durch Reflexion polarisirt. Wird

zwischen die zwei Glimmersäulen, während die Einfallsebenen in beiden einander parallel sind, ein dünnes Gips- oder Glimmerplättchen so gestellt, daß es die die erste Säule verlassenden Wärmestrahlen senkrecht treffen; so bewirkt dieses in der Intensität der durch die zweite Säule gehenden Strahlen keine Aenderung, wenn der Hauptschnitt des Plättchens mit der Einfallsebene der Strahlen in die Säulen parallel oder darauf senkrecht ist; dreht man aber das Plättchen in seiner eigenen Ebene, so vermindert sich die von der zweiten Säule durchgelassene Wärme, und erreicht ein Minimum, wenn der Hauptschnitt des Plättchens um 45° gegen jene Einfallsebene geneigt ist. Es wird demnach die Wärme auch durch Doppelbrechung polarisirt. Ein rhombisches Prisma aus Steinsalz, ähnlich dem in 301 besprochenen Glasprisma, kann einen polarisirten Wärmestrahl durch doppelte Reflexion auch circular polarisiren. Man hat sogar eine Drehung der Polarisationsebene eines Wärmestrahles durch eine senkrecht auf die Krystallaxe geschnittene Bergkrystallplatte bemerkt, und hier sogar den Gegensatz beobachtet, der sich bei sogenannten rechten und bei linken Krystallen dieser Art in optischer Beziehung kund zu geben pflegt.

407. Alles bisher über strahlende Wärme Dargestellte zeigt, daß sich mit Ausnahme der Beugung und Interferenz alle Modificationen, welche das Licht erleidet, auch bei der Wärme wahrnehmen lassen, ja es sind sogar für mehrere dieser Modificationen die thermischen Gesetze den optischen völlig gleich, wie jene der geradlinigen Fortpflanzung, der Reflexion, Brechung, Absorption und Polarisation. Was beim Lichte die verschiedenfarbigen Strahlen sind, das stellen bei der Wärme die heterogenen Strahlen vor, die sich durch Absorbirbarkeit von einander unterscheiden; diathermane Körper entsprechen den diaphanen, athermane den undurchsichtigen, farblos durchsichtige, wie Krystallglas, den diathermanen ohne Diathermansie, wie Steinsalz; farblos undurchsichtige, wie Kreide, den für alle Strahlen athermanen, wie Kienruß; farbig durchsichtige, wie rothes Glas, solchen, welche nur gewisse Strahlen durchlassen, wie Alaun. Bei aller dieser Uebereinstimmung behaupten die Wärmestrahlen doch eine gewisse Selbstständigkeit, welche hindert, sie als ein bloß dem Grade nach vom Lichte verschiedenes Agens anzusehen. Ueber strahlende Wärme siehe: Biot in Pogg. Ann. 38. 1; 39. 250, 436, 544. Melloni ebend. 39. 1; 45. 57; 48. 326; 49. 577, 585; 51. 73; 52. 421, 573; 53. 47, 268. Forbes ebend. 45. 64, 442; 51. 88, 387.

B. Gesetze der geleiteten Wärme.

408. Ein Körper, der Wärmestrahlen absorbirt, erfährt dadurch eine Erhöhung seiner Temperatur, welche der Menge der absorbirten Wärmestrahlen direct und seiner Capacität verkehrt proportionirt ist. Die Erwärmung pflanzt sich von der Stelle, wo die Absorption Statt findet, nach allen Richtungen in der betreffenden Masse fort, indem jedes wärmere Theilchen seinem benachbarten minder warmen Wärme mittheilt, und dadurch selbst eine Temperaturverminderung erfährt. Da,

wo ein solches Theilchen an einen leeren Raum oder an einen diathermanen Körper grenzt, sendet es selbst wieder Wärmestrahlen aus, und wird dadurch erkältet. Eben so gibt es an ein materielles Mittel von geringerer Temperatur unmittelbar Wärme ab. Zuletzt tritt Gleichgewicht der Temperatur ein, und zwar dann, wenn für jedes Theilchen Wärmeempfang und Wärmeabgabe gleich sind. Es herrscht also auch hier eine Art bewegliches Gleichgewicht. Der Ab- und Zufluß der Wärme (nicht der Wärmestrahlen) erfolgt nach eigenen Gesetzen, deren gründliche Erörterung aber Kenntnisse der höheren Analysis voraussetzt und darum hier nicht gesucht werden darf.

409. Die Frage über die Fortpflanzung der Wärme in einem festen Körper schließt als das wichtigste Element zu ihrer Beantwortung folgende in sich: Wie viel Wärme geht durch einen Querschnitt $= 1$ dieses Körpers nach einer bestimmten Richtung in einer Zeiteinheit? Daß diese Wärmemenge von der zunächst an beiden Seiten des fraglichen Querschnittes herrschenden Temperatur abhänge, ist für sich klar, und die einfachste Voraussetzung ist offenbar, daß sie der Temperaturdifferenz der besagten Stellen proportional sey. In dieser Voraussetzung sind auch in der That alle Rechnungen über die Bewegung der Wärme in festen Körpern gemacht, und da deren Resultate von der Erfahrung bestätiget werden, so ist an der Zulässigkeit derselben wenigstens für so kleine Temperaturdifferenzen, wie sie an einander so nahe gelegenen Stellen vorkommen können, nicht zu zweifeln. Die Folge wird lehren, daß für größere Differenzen eine solche Voraussetzung nicht mehr der Wahrheit gemäß wäre. Nebst der Wärmedifferenz diesseits und jenseits des fraglichen Querschnittes hat auch die Natur der Körper selbst auf die Wärmemenge, welche durch diesen Querschnitt in einer bestimmten Zeit geht, Einfluß. Man heißt die Fähigkeit eines Körpers, der Wärme in seinem Innern die Fortpflanzung mit einer gewissen Geschwindigkeit zu gestatten, seine **Wärmeleitungsfähigkeit**, und nennt jene Körper, in welchen diese Geschwindigkeit relativ groß ist, **gute**, jene, in welchen sie gering ist, **schlechte** Wärmeleiter. Einen Körper, der für die Wärme ganz undurchdringlich wäre, also ein **Nichtleiter** genannt werden könnte, gibt es nicht. Alles dieses zusammen genommen zeigt, daß die Wärmemenge q, welche durch den Querschnitt a eines Körpers von der Leitungsfähigkeit k, dessen Theile an der einen Seite des Querschnittes die Temperatur t, an der andern die Temperatur t' haben, in der Zeit δ geht, ausgedrückt werde durch $q = ka(t - t')\,\delta$.

410. Als Beispiel des Verlaufes der Sache bei der Fortpflanzung der Wärme in einem festen Körper diene der Fall, wo der zu untersuchende Körper die Gestalt eines dünnen, langen Prisma's mit quadratförmigem Querschnitte hat. Wird ein solcher Stab an einem Ende einer constanten Wärmequelle, z. B. der Wirkung einer guten Lampe, ausgesetzt, so geht die Wärme von diesem Ende gegen das andere mit einer der Leitungsfähigkeit des Stabes angemessenen Geschwindigkeit, indem jedes Theilchen seinem Nachbar nach Maßgabe der beiderseitigen

Temperaturdifferenz Wärme abtritt. Zu gleicher Zeit senden die am äußeren Umfange liegenden Theile Wärmestrahlen aus und geben auch an die Luft unmittelbar Wärme ab, und dieser Verlust wird von den mehr nach innen gelegenen wieder ersetzt. Wenn endlich jedes Theilchen von den wärmeren eben so viel Wärme bekommt, als es an die kälteren oder an die Umgebung abgibt, so ist die Temperatur des Ganzen stationär und ändert sich ungeachtet der fortdauernden Wirkung der Wärmequelle nicht mehr. Die Vertheilung der Wärme in diesem Zustande kann man nun sowohl auf dem Wege des Versuches, als durch Rechnung bestimmen. Zum Behufe des Versuches überzieht man die Stange mit einer dicken Lage Kienruß, um ihre Wärmestrahlung gering und von der Natur des Stoffes unabhängig zu machen, bringt dann an mehreren, von einander gleich weit abstehenden Stellen, senkrecht auf die Axe des Prisma's, Vertiefungen an, welche etwas über die Axe ins Innere hineinreichen. Wird nun die Stange in horizontale Lage gebracht, in jede Vertiefung die Kugel eines empfindlichen Thermometers gestellt, der Zwischenraum mit Quecksilber ausgefüllt und dann ein Ende dem Einflusse der Wärmequelle ausgesetzt und abgewartet bis alle Thermometer stationär geworden sind; so gibt der Ueberschuß der Temperatur jedes einzelnen über die des Versuchslocales die nöthigen Daten zur Lösung der Aufgabe. Die mathematische Behandlung dieser Aufgabe führt zu dem Ausdrucke:

$$y = A \,.\, 10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}} + B \,.\, 10^{\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}},$$

wo y der Temperaturüberschuß der Stelle ist, deren Entfernung vom heißesten Ende x heißt, m der Modul der gewöhnlichen Logarithmen = 2,302585, k die Leitungsfähigkeit der Stange, h eine von dem Strahlungsvermögen derselben, A und B constante, von der Temperatur der Wärmequelle abhängige Größen bedeuten. Ist die Stange so lang, daß ihr äußerstes Ende nicht mehr von der Wärmequelle afficirt wird, so hat man $y = A \,.\, 10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, eine Gleichung, die mehrerer sehr wichtiger Anwendungen fähig ist.

Die vorstehende Gleichung kann dazu gebraucht werden, die Temperatur einer Wärmequelle zu bestimmen. Es ist nämlich für $x = 0$ $y = A$ der Temperaturüberschuß der Wärmequelle über die Temperatur des Versuchslocales, und da letztere bekannt ist, so braucht man nur mehr A zu bestimmen, um die Aufgabe lösen zu können. Nun hat man aber für die Stelle x den Ausdruck $\log y = \log A - \frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}$, für die Stelle x′ den Ausdruck $\log y' = \log A - \frac{x'}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}$ und aus beiden $\frac{1}{m}\sqrt{\frac{h}{k}} = \frac{\log y - \log y'}{x' - x}$; dieses in erstere Gleichung substituirt gibt $\log A = \frac{x' \log y - x \log y'}{x' - x}$.

411. Aus allen diesem sieht man, daß bei Behandlung der Frage über die Fortpflanzung der Wärme im Innern der Körper die Leitungsfähigkeit eine große Rolle spielt, und wie nöthig es sey, sie numerisch

zu bestimmen. Zu diesem Ende muß man sich gegenwärtig halten, daß sie ausgedrückt werde durch die Wärmemenge, welche in einer Zeiteinheit durch einen Querschnitt = 1 geht, während die Temperatur zunächst an diesem diesseits und jenseits desselben = 1 ist. Die Bestimmung dieser Größe ist verschieden, je nachdem der Körper, um den es sich handelt, ein guter oder schlechter Leiter ist. Ob nun ersteres oder letzteres der Fall sey, erkennt man leicht durch das Befühlen des betreffenden Stoffes; denn ein guter Leiter fühlt sich, wenn er wärmer ist als die Hand, wärmer, wenn er kälter ist als diese, kälter an als ein minder guter, aus dem Grunde, weil ersterer der Hand in derselben Zeit mehr Wärme gibt oder nimmt als letzterer. Zur Bestimmung der Leitungsfähigkeit eines guten Leiters gibt man ihm die Gestalt eines langen, dünnen Prisma's mit quadratförmiger Basis, und unterwirft ihn dem Versuche, von welchem eben die Rede war. Da hat man im Zustande der stationären Temperatur für den Temperaturüberschuß y der Stelle, deren Abstand vom heißesten Ende x heißt, die Gleichung $y = A.10^{-\frac{x'}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, für den Temperaturüberschuß y′ einer andern, deren Abstand von demselben Ende x′ ist, den Ausdruck $y' = A.10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, und aus beiden $\log\frac{y}{y'} = \frac{1}{m}(x - x')\sqrt{\frac{h}{k}}$. Daraus ist nun $k = \frac{\frac{h}{m^2}(x - x')^2}{(\log y - \log y')^2}$ und weil h, m, x — x′ constante Größen sind, so ist auch der Zähler dieses Bruches eine solche. Bezeichnet man sie mit C, so erhält man $k = \frac{C}{(\log y - \log y')^2}$. Hat man demnach für verschiedene Körper y und y′ bestimmt, so ist dadurch das Verhältniß der ihnen entsprechenden Werthe von k gegeben. Ist der zu untersuchende Körper kein so guter Leiter, daß man annehmen kann, alle Puncte eines und desselben Querschnittes haben dieselbe Temperatur, so paßt für ihn nicht die vorstehende Gleichung, und man muß zur Ausmittlung seiner Leitungsfähigkeit eine andere Versuchsmethode wählen. Zur Ausführung dieser dient ein eigens eingerichtetes Thermometer, das Fourier, der Erfinder desselben, Contactthermometer nennt. Es besteht aus einem gewöhnlichen, sehr empfindlichen Quecksilberthermometer, dessen Kugel in einem kegelförmigen, aus dünnem Eisenblech verfertigten Gefäße steht. Der Boden dieses Gefäßes besteht aus weichem Leder, und der vom Thermometer übrig gelassene Raum ist mit Quecksilber ausgefüllt. Zur Anwendung dieses Instrumentes braucht man noch eine ebene plattenförmige Unterlage von Metall oder Marmor. Der Körper, dessen Leitungsfähigkeit mit diesem Instrumente untersucht werden soll, muß die Form einer dünnen Platte haben. Beim Gebrauche wird der zu untersuchende Körper auf die Unterlage gelegt, das Thermometer auf 46 — 47° C. erhitzt, und in dem Momente, wo es auf 45° herabgesunken ist, auf den betreffenden Körper gestellt, und die Zeit beobachtet,

in welcher es auf bestimmte Grade herabgesunken ist. Die Gleichung $z = \frac{1}{\vartheta}(\log(t - t') - \log(t' - t''))$ gibt dann die der Leitungsfähigkeit nahe proportionirte Größe z, wenn der Zeitabschnitt ϑ, in welchem die Temperatur des Thermometers von t auf t' und von t' auf t'' herabsinkt, nebst diesen Temperaturen bekannt ist. (Despretz in Pogg. Ann. 12. 281; Fourier ebend. 13. 327.)

412. Durch die so eben beschriebenen Verfahrungsarten findet man das numerische Verhältniß der Leitungsfähigkeiten. Häufig braucht man aber nur zu wissen, welcher von den fraglichen Körpern ein besserer, welcher ein schlechterer Leiter sey. Dahin gelangt man durch viel einfachere Mittel. Franklin und Inghenhouß haben zu diesem Zwecke eine eigene Versuchsweise ausgesonnen. Sie gaben den zu untersuchenden Körpern die Gestalt gleich dicker Drähte, befestigten sie an einem Querholze wie die Zähne eines Kammes, überzogen sie mit einer Schichte Wachs und tauchten sie alle gleich tief in heißes Oehl. Da schmolz das Wachs am besseren Leiter weiter weg, als am schlechteren.

413. Durch Versuche der vorerwähnten Art hat man sich überzeugt, daß die Leitungsfähigkeit für die Wärme für verschiedene Körper verschieden ist, daß die Metalle und Steine durchaus zu den guten, die Metalloxyde und glasartigen Stoffe hingegen, so wie Kohle, gepulverte Körper, Asche rc. zu den schlechten Leitern gehören. Faserige Stoffe, wie Spitzen, Gewebe, Wolle, Seide sind in der Regel schlechte Leiter, jedoch senkrecht auf die Richtung der Fasern schlechtere noch als nach der Länge derselben. Temperaturerhöhung scheint die Leitungsfähigkeit herabzusetzen, vielleicht weil sie die Poren vergrößert und die Continuität stellenweise aufhebt.

Nach Despretz kommt den nachstehenden Körpern die Leitungsfähigkeit zu, welche die beigesetzten Zahlen ausdrücken. Gold 1000, Silber 973, Platin 981, Kupfer 898,2, Eisen 374,3, Zink 363, Zinn 303,9, Blei 179,6, Marmor 23,6, Porcellan 12,2, Töpfererde 11,4. Nach Forbes steht das Platin zwischen Eisen und Zinn, Antimon und Wismuth nach Blei. Aus der verschiedenen Leitungsfähigkeit der Körper erklärt man sich das Warmhalten unserer Kleider, warum Bäume durch Umwinden mit Stroh, und Saaten durch eine Schneedecke vor Frost geschützt werden, warum hölzerne Stuben wärmer sind als gemauerte, warum man metallene Gefäße mit hölzernen Handgriffen versieht, warum man auf hölzernem Boden wärmer steht, als auf steinernem, warum Reiter im Winter die Steigbügel mit Tuch oder Stroh umwickeln, warum man bei starker Kälte wohl Holz, aber nicht Eisen mit der Zunge ungestraft berühren darf. Hierauf beruht auch die zweckmäßige Einrichtung unserer Oefen und Kochgefäße nach Rumford's Angabe. (Dessen schöne Versuche in Gilb. Ann. 4., und in seinen kleinen Schriften. Weimar, 1805. Larive und Decandolle in Zeitschr. 5. 330, und Pogg. Ann. 14. 590. Despretz in Pogg. Ann. 46. 484.)

414. In flüssigen Körpern hängt die Fortpflanzung der Wärme, wenigstens in dem Falle, wo die Erwärmung von unten Statt findet, nicht allein von der Leitungsfähigkeit und Temperaturdifferenz, son-

dern auch von der Beweglichkeit der kleinsten Theile ab; denn die wärmeren Theile steigen in der kälteren Masse in die Höhe und übertragen die Wärme von unten nach oben. Man kann die dadurch erzeugten Ströme in tropfbaren Flüssigkeiten durch beigemengte Pulver von gleichem specifischen Gewichte mit der Flüssigkeit, in der Luft aber durch Körper sichtbar machen, welche durch den aufsteigenden Strom in Bewegung gesetzt werden, wie z. B. durch papierene Windmühlflügel. Im Freien beweiset das Zittern von Objecten, die ihr Licht durch von unten erwärmte Luft ins Auge senden, das Daseyn aufsteigender Ströme. Werden Flüssigkeiten von oben erwärmt, so kann sich die Wärme nur vermöge ihrer Leitungsfähigkeit fortpflanzen, und in diesem Falle erscheinen alle als schlechte Wärmeleiter, pflanzen aber die Wärme nach demselben Gesetze fort, welches für Metallstäbe früher nachgewiesen worden ist. (Despretz in Pogg. Ann. 46. 340.)

In dem Gesagten findet die langsame Erwärmung hoher Zimmer, die große Ungleichheit ihrer Temperatur am Fußboden und an der Decke, ihre Erklärung; auch begreift man daraus, warum eine Flüssigkeit auf einem Sparherde leichter zum Sieden gebracht wird, als an einem offenen Herdfeuer; warum man in Badhäusern das warme Wasser unter das kalte leitet, warum bei Destillationen das Kühlwasser immer von oben ab- und von unten zugeleitet werden muß rc. Hierauf beruht auch die Einrichtung der sogenannten Luftheizung, mit deren Vervollkommnung sich besonders Meißner befaßt hat. Nach dieser Methode kann die Luft in einem Gemache auf eine zweifache Art erwärmt werden. Man kann den Ofen in ein abgesondertes, kleines, geschlossenes Gemach (Heizkammer) stellen, und die daselbst befindliche, stark erwärmte Luft in die zu beheizenden Zimmer, deren Anzahl sich oft auf drei oder vier beläuft, durch eine etwa 4—5 Fuß über dem Fußboden angebrachte Oeffnung leiten, die kalte aber durch einen ähnlichen Canal, der sich in der Nähe des Fußbodens befindet, dahin zurückführen; man erspart dabei den Raum für den Ofen, entgeht der oft so lästigen strahlenden Wärme, kann die Wärme der Zimmer durch Schließen und Oeffnen der Luftlöcher nach Belieben reguliren und soll auch Brennmateriale ersparen. Das zweite Verfahren besteht darin, daß man den Ofen mit einem thönernen oder auch metallenen Schirm umgibt, welcher etwa 6 Zoll vom Ofen absteht, oder ein offenes Rohr durch sein Inneres zieht. So wie die Luft in dem Zwischenraume oder in dem Rohre erwärmt ist, steigt sie in die Höhe, die kältere folgt von unten nach, und man kann so mit einem einzigen Ofen ein sehr großes Gemach ziemlich gleichförmig erwärmen. (Heizung mit erwärmter Luft, von P. T. Meißner. Wien, 1827.)

415. Zu den Bewegungsgesetzen der Wärme gehören auch jene, die man bei Versuchen über die Abkühlung warmer Körper in kälteren Mitteln wahrgenommen hat. Solche Versuche haben Mehrere angestellt, darunter müssen aber die von Rumford und vorzüglich jene von Dulong und Petit besonders hervorgehoben werden. Rumford hat nicht unterschieden, ob der Körper die abgegebene Wärme durch Strahlung oder durch Mittheilung an die Luft verloren habe; er brachte ihn in ein großes Zimmer von bekannter und beständiger Temperatur, bestimmte an einem damit in Verbindung stehenden Ther-

mometer die Temperatur nach gewissen Zwischenzeiten, und nahm daraus das Gesetz der Erkaltung ab. Bei Dulong's und Petit's Versuchen wurden aber sowohl die Gesetze des Wärmeverlustes durch Strahlung, als auch die des Verlustes durch Mittheilung besonders bestimmt, zugleich aber wurde auch durch vorläufige Versuche ausgemittelt, daß eine Flüssigkeit, wie z. B. Quecksilber, in einem Gefäße von einerlei Substanz eingeschlossen, das Grundgesetz der Erkaltung in seiner vollen Reinheit und Einfachheit darstelle, ohne durch eine mäßige Veränderung der Größe (man nahm Kugeln von 2 — 7 Centimeter Durchmesser), oder der Gestalt des Gefäßes (es wurde mit Kugeln und Cylindern experimentirt) gestört zu werden, und man daher die Gesetze der Erkaltung solcher Körper als den Ausdruck der Erkaltung der Molecule betrachten könne. Bei dem eigentlichen Versuche wurde ein Quecksilberthermometer bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt, und hierauf schnell in einen Ballon von Kupfer gegeben, der zur Vermeidung aller Einwirkung durch Strahlung innerlich mit Lampenruß geschwärzt war und sich in einem Wasserbade von bekannter Temperatur befand. Um die Gesetze der Erkältung durch Strahlung zu erfahren, wurde im Ballon die Luft möglichst verdünnt und selbst der Rest derselben in Rechnung gebracht, das erwähnte Thermometer hineingesetzt, so daß seine Kugel des Ballons Mittelpunct einnahm, und endlich der Stand des Thermometers nach gleichen Zwischenzeiten beobachtet. Der Quotient aus der Temperaturänderung und der dazu verwendeten Zeit gab die Abkühlungsgeschwindigkeit an. Auf gleiche Weise wurde verfahren, um die Erkaltung durch Mittheilung auszumitteln, nur mit dem Unterschiede, daß der Ballon mit irgend einer trockenen Luftart gefüllt war, und daß man von der gesammten Erkaltung nach der Hand die durch Strahlung bewirkte abzog. Mittelst solcher Versuche fand man folgende Resultate: 1) Nicht alle Körper erkalten gleich schnell, selbst wenn sie eine gleiche Form, Größe und Oberfläche haben. 2) Die Erkaltung in der Luft geht desto schneller vor sich, je größer der Temperaturunterschied zwischen dem erkaltenden Körper und seinem Mittel ist; doch stehen die Erkaltungsgeschwindigkeiten nicht, wie Newton meinte, im geraden Verhältnisse mit den Temperaturunterschieden, nähern sich aber diesem Verhältnisse desto mehr, je geringer der genannte Unterschied ist. 3) Im leeren Raume von beständiger Temperatur läßt sich die Erkaltungsgeschwindigkeit durch die Formel $M (a^t - 1)$ ausdrücken, wo t die Temperaturdifferenz zwischen dem Erkaltungsorte und dem erkaltenden Körper, M und a beständige Größen sind, von denen $a = 1{,}0077$ ist. Die Erkaltungsgeschwindigkeit nimmt daher ab, wie die Glieder einer geometrischen Progression, vermindert um eine beständige Größe, während die Temperaturüberschüsse eine arithmetische Reihe darstellen. 4) Die Erkaltung, welche ein Gas für sich, abgesehen von der Ausstrahlung, bewirkt, ist völlig unabhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche der Körper, und hängt bloß von der Temperaturdifferenz zwischen dem Gase und dem erkaltenden Körper und von der Spannkraft des Gases ab. Diese

Erkaltungsgeschwindigkeit läßt sich durch die Formel $m t^b$ ausdrücken, in welcher t die Temperaturdifferenz, $b = 1{,}233$ bedeutet, m aber eine Größe ist, welche von der Natur des Gases und von den Dimensionen des erkaltenden Körpers abhängt. Sie ändert sich daher in einer geometrischen Progression, wenn die Temperaturüberschüsse auch eine geometrische bilden. Die gesammte Abkühlung wird demnach durch $M (a^t - 1) + m t^b$ ausgedrückt.

Viertes Kapitel.

Wirkungen der Wärme.

416. Es ist schon früher erwähnt und sogar bewiesen worden, daß die Wärme auf die Körper eine eigenthümliche Wirkung ausübe, welche darin besteht, daß sie deren Volumen vergrößert und ihren Aggregationszustand ändert. Hier sollen nun die Gesetze dieser Wirkungen erörtert und der Zusammenhang zwischen der wirkenden Wärmemenge und der Größe der Wirkung näher bestimmt werden.

A. Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

417. Die Wärme steigert die abstoßende Kraft der kleinsten Körpertheile. Im Inneren der Masse hebt sich dieser Zuwachs für jedes Theilchen auf, aber die an der Oberfläche liegenden Theilchen erleiden einen Druck von innen nach außen, welchem zu Folge sie sich von ihren Nachbartheilchen entfernen, und indem sie dadurch auch für diese die Gleichheit zwischen Zug und Gegenzug aufheben, bestimmen sie auch letztere zur Bewegung von einander. So kommt es, daß alle Theile durch die Wärme von einander entfernt werden, und der Körper ein größeres Volum einnimmt. Man kann sich demnach die Wirkung der Wärme als einen von innen nach außen auf die Köpertheile gerichteten und den Cohäsionskräften entgegen wirkenden Druck vorstellen. Das Gesetz der Ausdehnung der Körper durch die Wärme muß daher durch die Vertheilung und Größe der Cohäsionskraft in denselben bestimmt werden. Körper, in denen die Cohäsionskräfte gleich vertheilt sind, werden auch beim Erwärmen nach allen Richtungen gleich ausgedehnt werden, und die Theile, welche vor der Erwärmung in einer Kugelfläche lagen, werden sich auch nach der Erwärmung in einer solchen befinden. Anders muß es sich mit Körpern verhalten, in denen die Cohäsionskräfte nach verschiedenen Richtungen verschieden vertheilt sind. Da werden die bei einer bestimmten Temperatur in einer Kugelfläche liegenden Theilchen sich bei einem höheren Wärmegrade in einer andern Fläche befinden. Die Erfahrung lehrt, daß letzteres bei einigen krystallisirten Körpern der Fall sey.

418. Bei festen Körpern, die sich nach allen Richtungen gleich stark ausdehnen, bestimmt man unmittelbar meistens nur die lineare Ausdehnung, welche eine bestimmte Temperaturerhöhung erzeugt, und

berechnet aus dieser die Vergrößerung des Körperinhaltes. Man bedient sich dazu eigener Instrumente, die man, wiewohl uneigentlich, Pyrometer nennt. Fig. 371 stellt ein solches Instrument vor. Der zu untersuchende Körper A B wird an einem Ende B fest eingespannt, am andern A hingegen an den kürzeren Arm eines Winkelhebels abc angestemmt, dessen längerer Arm bc über einer eigenen Scale spielt, und darauf gleichsam die Verlängerung der Stange A B vergrößert darstellt (Nasmyth in Pogg. Ann. 9. 608). Die Volums- oder kubische Ausdehnung ist das Dreifache der linearen. Heißt nämlich die Dimension, um die es sich handelt, bei der ursprünglichen Temperatur a, das Volum des betreffenden Körpers v, seine lineare, auf diese Dimension bezogene Ausdehnung durch die Erwärmung μa, wo μ einen echten, meistens sehr kleinen Bruch bedeutet, und die Zunahme des Volums ρv; so ist offenbar

$$v : v + \rho v = a^3 \; (a + \mu a)^3 = a^3 : a^3 (1 + 3\mu + 3\mu^2 + \mu^3),$$

oder weil man μ^3, μ^2 gegen μ vernachläßigen und mit v und a^3 dividiren kann,

$$1 : 1 + \rho = 1 : 1 + 3\mu, \text{ mithin } \rho = 3\mu.$$

Bei krystallisirten Körpern, die sich nach verschiedenen Richtungen ungleich ausdehnen, erkennt man das Gesetz der Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen, indem man bei verschiedenen Temperaturen ihre Flächen- und Körperwinkel mißt. Zwillingskrystalle und nach Art der Zwillinge durch einen passenden Kitt verbundene Krystalle mit geschliffenen Flächen geben bei einer bestimmten Temperatur, bei welcher nämlich die spiegelnde Fläche eine Ebene bildet, nur ein Bild eines gegenüberstehenden Objectes. Bei der Erwärmung schließen die Flächen der beiden Krystalle einen Winkel ein, und man sieht demnach statt eines Bildes deren zwei, und kann von ihrer Distanz auf den Neigungswinkel der Spiegel, und hiedurch auf das Gesetz der Ausdehnung in der Wärme schließen. (Mitscherlich in Pogg. Ann. 41. 213.)

419. Die Ausdehnung der festen Körper durch die Wärme ist weder für verschiedene Körper und dieselbe Temperaturänderung gleich groß, noch für denselben Körper den verschiedenen Wärmegraden proportionirt. Indeß kann man doch für Temperaturen, welche innerhalb des Fundamentalabstandes des Thermometers liegen, die Ausdehnung eines Körpers seiner Temperatur proportional setzen. Bei höheren Temperaturen wächst die Ausdehnung mehr als im Verhältnisse zur Temperatur; nur der Schwefel macht hievon eine Ausnahme und bleibt in seiner Ausdehnung gegen die Wärme zurück (Despretz in Pogg. Ann. 46. 134). Unkrystallisirte Körper von gleichförmiger Dichte und krystallisirte, welche in das reguläre (tessularische) System gehören, dehnen sich nach allen Richtungen gleich stark aus: ungleichförmig dichte hingegen und solche krystallisirte, die in ein anderes System gehören, erleiden durch Erwärmung nach verschiedenen Richtungen auch verschiedene Ausdehnungen. Solche, die ins rhomboedrische oder pyramidale System gehören, besitzen nach der Richtung der Hauptaxe eine andere Ausdehnung, als nach jener der Nebenaxen, und zwar eine

größere, wenn sie repulsiv auf das Licht wirken, und eine kleinere, wenn diese ihre Wirkung attractiv ist; nach allen Nebenaxen werden sie jedoch gleich ausgedehnt. Krystalle der übrigen Systeme besitzen nach jeder Axe eine andere Ausdehnung.

Nach Mitscherlich verändern sich die ebenen Winkel eines Kalkspathrhomboeders bei einer Temperaturerhöhung von 80° R. um 8½ M., und zwar werden alle stumpfen Winkel kleiner, die complementären spitzigen größer; die Veränderungen stehen mit der Temperatur in geradem Verhältnisse. Die Ausdehnung von 0° — 100° C. nach der Richtung der Hauptaxe ist um 0,00342 größer als nach den andern Axen. An manchem Krystalle werden aber bei der Erwärmung die stumpfen ebenen Winkel größer und ihre Complementwinkel kleiner (Pogg. Ann. 1. 125; 10. 137). Nach Fresnel kann man sich von der ungleichen Ausdehnung der Gipskrystalle nach verschiedenen Richtungen auf folgende Weise überzeugen: Man löse von einem solchen Krystalle sehr dünne Blättchen ab, und leime sie so auf einander, daß sich ihre Axen rechtwinklig kreuzen, mit einem Leim, der in der Wärme weich wird, und beim Erkalten erhärtet. Erwärmt man ein solches Doppelplättchen und läßt es hierauf wieder kalt werden, so erscheinen beide Theile desselben auf eine Weise gekrümmt, aus der man abnehmen kann, nach welchen Richtungen in der Ausdehnung der Plättchen die größte Differenz herrsche. Es ist klar, daß diesem nach die bei der doppelten Brechung (276) aufgefundenen Größen sich nur auf eine bestimmte Temperatur (die gewöhnliche Lufttemperatur) beziehen, bei viel höheren oder minderen Wärmegraden aber anders ausfallen müssen (282).

420. Neuestens hat man die Ausdehnung der Körper durch die Wärme mit jener ihrer Atomenvolume verglichen und einige sehr interessante Resultate erhalten, die wohl noch einer weiteren Bestätigung bedürfen, aber hier doch nicht unerwähnt bleiben können. Es scheint sich zu ergeben, daß die Ausdehnungen jener chemisch einfachen Körper durch die Wärme, deren Atomvolume in einfachen Verhältnissen stehen, auch solche Verhältnisse befolgen; ferner daß die Ausdehnung eines zusammengesetzten Körpers gleich sey der Summe der Ausdehnungen seiner Bestandtheile, letztere in jenen Condensationszuständen genommen, in denen sie sich in der fraglichen Verbindung befinden. Man hat sogar eine Relation zwischen der Aenderung der Atomenvolume und jener der Axen krystallisirter Körper nachzuweisen gesucht. (Neumann in Pogg. Ann. 27. 240. Schröder in Pogg. Ann. 50. 553; 52. 282. Kopp ebend. 52. 262.)

Ausdehnung einiger festen Körper von 0° — 100° C..

Spiegelglas	$\frac{1}{1122}$	Kupfer	$\frac{1}{582}$
Flintglas	$\frac{1}{1232}$	Messing	$\frac{1}{513}$
Platin	$\frac{1}{1167}$	Stahl	$\frac{1}{480}$
Spießglanz	$\frac{1}{923}$	Wismuth	$\frac{1}{719}$
Gußeisen	$\frac{1}{901}$	Silber	$\frac{1}{524}$
Weiches Schmiedeeisen	$\frac{1}{819}$	Zinn	$\frac{1}{460}$
Weicher Eisendraht	$\frac{1}{810}$	Blei	$\frac{1}{351}$
Gold	$\frac{1}{682}$	Zink	$\frac{1}{340}$

421. Die Verschiedenheit der Ausdehnung fester Körper für denselben Temperaturunterschied begründet die Möglichkeit, Körper so mit einander zu verbinden, daß sie bei bestimmten Temperaturänderungen bestimmte Bewegungen annehmen, oder unverändert dieselbe Länge beibehalten; auch viele Vorsichten bei der Verbindung verschiedener Körper mit einander werden dadurch nothwendig gemacht. Die ungemeine Kraft, mit der sich solche Körper ausdehnen, wenn sie erwärmt werden, und sich wieder zusammenziehen, wenn man sie abkühlt, läßt sich oft vortheilhaft benützen.

Auf der Verbindung zweier sich ungleich ausdehnenden Metalle beruhen Breguet's und Holzmann's Metallthermometer. Breguet's Thermometer (Fig. 372) besteht aus drei zusammengeschraubten, schraubenförmig gewundenen Plättchen von Silber, Gold und Platin, die am oberen Ende A besestiget, und am unteren B mit einem Zeiger versehen sind, der über einer kreisrunden Scale mit der gewöhnlichen Thermometertheilung spielt. Holzmann's Thermometer (Fig 373) hat die Form einer Taschenuhr. Der eigentliche thermometrische Theil desselben ist ein bogenförmiges Doppelplättchen A aus Eisen und Messing, oder aus Platin und Messing, an welchem letzteres Metall den inneren Theil abgibt. Dieses ist an einem Ende am Gehäuse besestiget, am andern aber mit einem Rechen a in Verbindung, der mit seinen Zähnen in ein Getriebe eingreift, welches an der Axe eines Zeigers b angebracht ist. Der Zeiger spielt auf einer mit der Thermometerscale versehenen Platte. — Auf der Ungleichheit der Ausdehnung verschiedener mit einander verbundenen oder verschieden erwärmten Körper beruht das Krachen eiserner geheizter Oefen, metallener Dächer oder des Eises an strengen Wintertagen; das Zerreißen eiserner Klammern in Gebäuden, die man bei großer Kälte angebracht hat, ohne ihnen einen Spielraum zu gestatten; die Nothwendigkeit bei metallenen Wasser- oder Dampfleitungsröhren die sogenannten Ausgleichungsröhren anzubringen, an metallenen Kesseln und großen Pfannen ringsum einen Zwischenraum zu lassen; das Zerspringen gläserner Gefäße bei schneller Erhitzung oder Erkältung; das Abschälen oder Zerspringen der Glasur an Gefäßen bei schnellen Temperaturänderungen. Die Kraft, mit welcher sich erwärmte Körper ausdehnen, ist im Stande, ungeheure Hindernisse zu überwinden. Man kann durch sie die Kraft starker Pressen ersetzen. Eben so verhält es sich mit der Energie, womit sie sich beim Erkalten zusammenziehen Molard hat dadurch stark gewichene Mauern in ihre normale Lage zurückgeführt.

422. Die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten durch die Wärme läßt sich unmittelbar dadurch bestimmen, daß man sie zum Füllen von Thermometern braucht, welche eine verhältnißmäßig ziemlich große Kugel haben, deren Rauminhalt gegen den der Röhre genau bekannt ist. Wird ein solches Thermometer verschiedenen Temperaturen ausgesetzt, und für jede derselben das Volum der Flüssigkeit bestimmt, so hat man die Aufgabe gelöst. Daß man dabei auf die Ausdehnung des Gefäßes Rücksicht nehmen und ihren Einfluß in Rechnung bringen müsse, versteht sich von selbst. Man kann zu demselben Ziele auch dadurch gelangen, daß man die Dichte der Flüssigkeit bei mehreren Temperaturen nach den (I. 201 und 204) angegebenen Methoden sucht, und daraus auf ihr Volum schließt. Wie die Ausdehnung der

Gase durch die Wärme untersucht wird, und was hierüber die Erfahrung lehrt, ist bereits S. 174 u. f. gesagt worden.

423. Durch solche Versuche hat man sich überzeugt, daß jede tropfbare Flüssigkeit sich nach allen Richtungen gleich stark ausdehne und daß jeder bei einerlei Temperaturänderung eine besondere Ausdehnung entspreche, mithin sich keine durchaus der Temperatur proportional ausdehne. In der Regel kann man aber doch für Temperaturen, die weit von denen entfernt sind, bei welchen die Flüssigkeiten ihren Aggregationszustand ändern, eine Proportionalität zwischen der Ausdehnung und dem ihr entsprechenden Wärmegrade annehmen. In der Nähe ihres Siedpunctes dehnen sie sich in einem größeren Verhältnisse aus, als die Temperatur wächst; in der Nähe der Temperatur, bei der sie fest werden, verhalten sich aber nicht alle auf gleiche Weise. Einige, z. B. Quecksilber, ziehen sich beim Erkalten immer mehr zusammen, und dehnen sich auch beim Erwärmen stärker aus, als bei höheren Temperaturen; bei anderen, wie z. B. beim Schwefel, findet das Gegentheil Statt; ja einige haben gar oberhalb ihres Eispunctes die größte Dichte, und dehnen sich daher bei weiterer Erkaltung unter diesen Punct aus, statt sich zusammenzuziehen. Dem Wasser kommt diese merkwürdige Eigenschaft zu, wie aus der Tabelle S. 152 zu ersehen ist. Dasselbe hat nach Stampfer die größte Dichte bei 3° R. = 3,75 C., nach Hallström bei 3°,90 C. mit einem wahrscheinlichen Fehler von + 0°,04. (Jahrb. des polytechn. Instit. in Wien. B. 16. Muncke, über die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten durch die Wärme in den *Mém. présentés à l'Acad. Imp. de St. Pétersbourg. Tom. I.* Die Resultate dieser Versuche enthält auch Zeitschr. 10. 366. Hallström in Pogg. Ann. 1. 129; 34. 220. Despretz ebend. 41. 58.)

Nachstehende Tabelle enthält das Volum einiger Flüssigkeiten für die nebenstehenden Temperaturen nach Muncke's Versuchen:

Temp. C.	Alkohol.	Schwefeläther.	Ammoniak.	Salzsäure.	Salpetersäure.	Schwefelsäure.
— 20	0,981	—	—	0,988	0,978	0,991
— 10	0,990	0,985	0,997	0,994	0,990	0,995
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
+ 10	1,010	1,015	1,003	1,006	1,010	1,006
20	1,021	0,030	1,007	1,011	1,021	1,011
30	1,033	0,046	1,012	1,017	1,032	1,017
40	1,044	1,064	1,017	1,022	1,042	1,033
50	1,056	—	—	—	1,054	1,029
60	1,068	—	—	—	1,065	1,035

Eine wässerige Lösung von salzsaurem Natrum mit dem specifischen Gewichte 1,010 hat das Maximum der Dichte bei 1°,5 R. Salzwasser von 1,027 specifischem Gewichte hat nach Erman (Pogg. Ann. 12. 463) kein solches Maximum; nach Despretz haben aber alle weingeistigen, salzigen, sauren und alkalischen Lösungen im Wasser ein solches. Meerwasser von 1,0275 spec. Gewichte fand er bei — 3°,67 C. am dichtesten; Kochsalzsole von 0,000128 Dichte bei 1°,19 C., von 0,0246 Dichte bei

— 1°,69, von 0,037 Dichte bei — 4°,75, und von 0,0741 Dichte bei — 16° C. Chlorkalcium von 0,0375 Dichte zeigte sich bei — 2°,43, solches von 0,0741 Dichte bei — 10°,4 C. am dichtesten. Uebrigens sinkt die Temperatur des Maximums der Dichte mit zunehmender Concentration der Lösung schneller als der Frierpunct derselben. Aus diesem Verhalten des Wassers erklärt es sich, warum tiefe Wässer so selten gefrieren, warum das Gefrieren erst eintritt, wenn die Temperatur der Luft schon längere Zeit hindurch unter 0° C. stand. Ob einer Flüssigkeit ein Maximum der Dichte zukomme oder nicht, erfährt man am leichtesten, wenn man sie erwärmt, hierauf abkühlen läßt, und die Abkühlungsgeschwindigkeit beobachtet. Diese ist immer in der Nähe des Maximums der Dichte ein Minimum. — Vergleicht man die Ausdehnung eines Körpers in seinem festen Zustande mit der in seinem tropfbaren, so wie es Erman für mehrere Körper gethan hat; so findet man, daß sie für dieselbe Temperaturänderung im flüssigen Zustande größer ist, als im festen; doch scheint es zwischen den Ausdehnungen in beiden Zuständen einen Zusammenhang zu geben. So z. B. dehnt sich das Rosse'sche Metallgemische nach Erman von 0°—30° R., wo es fest ist, und von 80° an, wo es flüssig ist, nach demselben Gesetze aus. Auch der Phosphor befolgt bei seiner Ausdehnung im festen und flüssigen Zustande dasselbe Gesetz, und nur während des Schmelzens erleidet er eine plötzliche Ausdehnung (Pogg. Ann. 9. 557; 41. 58). — Die Ausdehnung der Gase und Dünste hängt mit ihrer Expansivkraft so innig zusammen, daß alles, was über diese gesagt wurde, auch von jener gilt, und daher nicht besonders dargestellt zu werden braucht.

424. Die abstoßende Kraft der Wärme wirkt nicht bloß der Anziehung homogener Körpertheile entgegen, sondern auch jener, die unter heterogenen Massen Statt findet und die Adhäsion begründet. Daher kommt es, daß Wasser, welches bei der gewöhnlichen Temperatur ein Metall, z. B. einen Silberlöffel, leicht benetzt, in einem solchen bedeutend erhitzten, zu einem Tropfen zusammenläuft und gar keine Adhäsion zum Metalle zeigt. Vielleicht hat Perkin's Erfahrung, nach welcher Wasser aus einem durchlöcherten, aber stark erhitzten eisernen Behälter nicht ausläuft, etwa so wie Quecksilber in einem Haarsiebe, ohne auszulaufen, herumgetragen werden kann, einen gleichen Grund. (Buff in Pogg. Ann. 25. 591. Boutigny ebend. 51. 130. Emsmann ebend. 51. 444.)

B. Aenderung des Aggregationszustandes durch die Wärme.

425. In einem festen Körper steht die anziehende Kraft der Theile mit der abstoßenden der Wärme in stabilem Gleichgewichte. Sind aber diese Theile durch die Wärme so weit von einander entfernt worden, daß dieses nicht mehr weiter geschehen kann, ohne zwischen den einander nächsten Theilen der Abstoßung das Uebergewicht zu verschaffen; so sind sie an ihrem Schmelzpuncte, und die geringste Steigerung ihrer Temperatur erzeugt den Uebergang des festen Zustandes in den tropfbar flüssigen, d. h. ein Schmelzen. Durch Dehnen eines Körpers mittelst einer mechanischen Kraft kann man kein Schmelzen bewirken, weil dadurch nicht eine Entfernung aller Theile von einander erzeugt werden kann, ja vielmehr einige von einander entfernt, einige einan-

der mehr genähert werden. In guten Wärmeleitern geht das Schmelzen, wenn es einmal an einer Stelle begonnen hat, rasch vorwärts, und erstreckt sich durch die ganze Masse, wenn solche Körper überhaupt der gehörigen Temperatur ausgesetzt sind; bei schlechten Leitern hingegen dauert es eine geraume Zeit, bis die ganze Masse geschmolzen ist. Einige Körper brauchen dazu nur eine mäßige Temperatur, wie z. B. Wachs, andere eine ungemein hohe, wie z. B. Gold, Eisen, Platin, Iridium, ja selbst derselbe Körper scheint einen verschiedenen Schmelzpunct zu haben, je nachdem er krystallisirt oder amorph ist; ja man hat Beispiele, daß ein Stoff in verschiedener Krystallform auch verschiedene Schmelzpuncte hat (Wöhler in Erdmann's Journal. 25. 50). Die Kohle scheint unter allen die höchste Temperatur zum Schmelzen zu erfordern. Manche Körper, wie z. B alle organischen und auch viele unorganische, erleiden eher eine chemische Zersetzung, als sie die zum Schmelzen nöthige Temperatur erlangt haben; bei einigen kann man der Zersetzung dadurch vorbeugen, daß man sie unter einem sehr hohen Drucke erhitzt. So ist es Hall gelungen, selbst Marmor zu schmelzen.

Merkwürdig ist es, daß nach Schröders Beobachtung jedes Atomvolum eines schwerer schmelzbaren Metalles immer eine geringere Ausdehnung durch die Wärme erleidet, als jenes eines leichter schmelzbaren. (Schröder in Pogg. Ann. 52. 262.)

426. Während ein Körper schmilzt, nimmt er keine höhere Temperatur an, und eine Vermehrung des Wärmezuflusses kann nur eine Beschleunigung des Schmelzens, keineswegs aber eine Temperaturerhöhung hervorbringen. So behält Eis in dem wärmsten Zimmer die Temperatur von 0° C. Die zufließende Wärme übernimmt die Function der Formänderung des Körpers, und hört auf zu erwärmen. Man nennt sie gebundene Wärme, und sagt: beim Schmelzen der Körper wird Wärme gebunden. Diese gebundene Wärme ist es, welche die Größe der zwischen den einzelnen Körpertheilchen herrschenden abstoßenden Kraft so weit steigert, daß solche Theile, die ohne den Zutritt der Wärme auf einander anziehend wirkten, nun bei derselben Entfernung eine abstoßende Wirkung auf einander ausüben (vergl. I. 45). Die Quantität der beim Schmelzen einer Masse gebundenen Wärme ist nach der Natur der Körper verschieden. Im Allgemeinen stehen die latenten Wärmen nahe im verkehrten Verhältnisse der Atomengewichte. (Despretz in Pogg. Ann. 52. 177.)

Um die Wärmemenge (Flüssigkeitswärme) zu finden, welche beim Schmelzen der Körper gebunden wird, bedient man sich am besten der Mischungsmethode. Aus dem früher Gesagten ist bekannt, daß die specifische Wärme des Wassers $^1/_{75}$ beträgt. Dieses Resultat gibt auch die Flüssigkeitswärme des Wassers an. Man kann es zu diesem Behufe so aussprechen: Eine Eismasse bindet beim Schmelzen so viel Wärme, daß man damit eine gleiche Wassermasse von 0° C. bis 75° C. erwärmen könnte. Versuchen zu Folge beträgt die Flüssigkeitswärme beim Wachs 97°,5, beim Spermacet 80°, beim Zinn 13,8, beim Blei 5°,8 C. (*Ann. de Chim.* 48. 363.)

427. Wenn einem tropfbaren Körper bis zu einem bestimmten Grade Wärme entrissen wird, so nimmt er wieder den festen Zustand an. Manche Körper gehen unmittelbar vom tropfbaren in den festen über, manche gestehen zuerst, und werden hierauf erst fest. Dabei krystallisiren fast alle, wenn die dazu erforderlichen Bedingungen vorhanden sind, und nehmen daher fast immer ein größeres Volum ein (Bellani in Zeitschr. 1. 481. Marx in Schweigg. J. 58. 454), indem die Theile nun nicht mehr in jeder Lage neben einander im Gleichgewichte stehen, sondern sich an bestimmten Puncten stärker anziehen, als an anderen. Die Temperatur, bei der sie fest werden, stimmt in der Regel mit derjenigen überein, bei welcher sie schmelzen; jedoch kann man einen flüssigen Körper in einem enghalsigen Gefäße bei hinreichender Ruhe weit über den gewöhnlichen Gefrierpunct erkälten, ohne daß er fest wird. So läßt sich Wasser bei — 10° und selbst bis — 20° C. bloß vermöge seiner Trägheit tropfbar erhalten, aber die geringste Erschütterung bringt es dann zum Erstarren.

428. Die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wurde, wird beim Gefrieren wieder frei. Darum behält Wasser, das langsam friert, während des ganzen Prozesses stets die Temperatur von 0° C.; ja wenn es noch bei einigen Graden unter dem Eispuncte flüssig erhalten worden ist, so steigt seine Temperatur im Augenblicke des Gefrierens schnell auf 0° C. Noch auffallender zeigt dieses eine gesättigte wässerige Glaubersalzlösung Wird diese bei der Siedhitze bereitet, dann luftdicht eingeschlossen und an einen ruhigen Ort gebracht, so erhält sie sich im tropfbaren Zustande. So wie man sie aber erschüttert oder mit einem festen Körper berührt, wird die Masse augenblicklich fest, und es tritt eine sehr merkliche Erwärmung ein. Etwas Aehnliches zeigt sich beim Festwerden des salzsauren Kalkes (Scholz, Anfangsgründe der Physik. 5. Aufl. S. 466). Aus dem beim Schmelzen und Festwerden der Körper Statt habenden Binden und Freiwerden der Wärme erklären sich viele merkwürdige Phänomene: z. B. die fortwährende Kälte, welche man empfindet, wenn man Eis oder Schnee in die Hand nimmt; warum eine bleierne Kugel, in Papier gewickelt, über einer Kerzenflamme schmilzt, ohne daß das Papier angezündet wird 2c.

429. Wenn eine tropfbare Flüssigkeit bis zu einem gewissen Grade erwärmt wird, so tritt jenes Phänomen ein, welches man das Sieden nennt, und wobei die Flüssigkeit die Dampfform annimmt. Wird, wie es gewöhnlich geschieht, die Erwärmung von unten angebracht; so macht sich zuerst die Luft von der Flüssigkeit los, setzt sich an die Wände in Gestalt kleiner Bläschen an, und entfernt sich endlich. Hierauf sieht man Dampfbläschen vom Boden aufsteigen, doch verschwinden sie wieder in den oberen, noch nicht hinreichend erhitzten Schichten, sie verursachen dadurch jenes Geräusch, das dem Sieden vorhergeht, und erwärmen zugleich die obere Flüssigkeit. Ist endlich die ganze Masse bis zum gehörigen Grade erwärmt, so steigen die Dampfbläschen bis an die Oberfläche und verursachen jenes Wallen und Bla-

senwerfen, welches das Sieden charakterisirt. Flüssigkeiten, die sich in der Hitze mit einer Haut überziehen, wie z. B. Milch, schwellen beim Sieden an, weil die Dämpfe diese Haut nicht gleich zu durchbrechen vermögen. Eine Flüssigkeit, die in ihrem Gefäße einen kugelförmigen Tropfen bildet, und es daher nur an wenigen Puncten berührt, kann, so lange sie die Kugelgestalt nicht verliert, nicht die zum Sieden nöthige Hitze vom Gefäße bekommen, um so mehr, als sie wegen ihrer großen Oberfläche viel Wärme verliert. Daher kommt es, daß Wasser in einem stark erhitzten Silberlöffel erst zu sieden anfängt, wenn die Temperatur des Löffels bis auf einen gewissen Grad herabgesunken und seine Adhäsion zum Metalle wieder hergestellt ist. (Leidenfrost'scher Versuch.)

430. Die Temperatur, bei welcher eine Flüssigkeit siedet, hängt von ihrer Natur und von dem auf ihr lastenden Drucke ab. So z. B. braucht Oehl eine höhere Temperatur zum Sieden, als Wasser, dieses eine höhere als Weingeist, dieser eine höhere als Schwefeläther. Die da sich bildende ausdehnsame Flüssigkeit wollen wir vorzugsweise Dampf nennen, zum Unterschiede von der unter dem Siedpuncte entstehenden, die Dunst heißen mag. Die beim Sieden entstehenden Dämpfe müssen eine Spannkraft haben, welche dem auf der Flüssigkeit lastenden Drucke gleich ist, und darum fordert eine Flüssigkeit zum Sieden eine desto höhere Temperatur, unter einem je größeren Drucke sie steht. Darum siedet z. B. Wasser in verdünnter Luft, unter dem Recipienten der Luftpumpe oder auf hohen Bergen bei einer geringeren Temperatur, als in Luft von gewöhnlichem Drucke; darum kann man Schwefeläther schon bei der gewöhnlichen Temperatur in stark verdünnter Luft zum Sieden bringen, und aus diesem Grunde kocht das Wasser im Pulshammer (einer luftleeren, Wasser enthaltenden Glasröhre) schon, wenn man ihn mit der warmen Hand berührt. Wenn sich die aus einer siedenden Flüssigkeit aufsteigenden Dämpfe nicht entfernen können, so addirt sich ihre Spannkraft zum atmosphärischen Drucke, und bewirkt so einen verstärkten Druck auf die Flüssigkeit. Die nun entstehenden Dämpfe müssen eine diesem Drucke gleiche Spannkraft haben, welche sie nur von einer erhöhten Temperatur erhalten können. Daher kommt es, daß Wasser im Papin'schen Digestor eine zum Schmelzen des Zinnes hinreichende Temperatur annehmen kann, und daß es in einem Gefäße, welches man während des Siedens der Flüssigkeit luftdicht geschlossen hat, gleich zu sieden aufhört, aber selbst von der Wärmequelle entfernt, wieder zu sieden beginnt, wenn man die Dämpfe durch Erkältung verdichtet. Die in den unteren Schichten einer siedenden Flüssigkeit entstehenden Dämpfe haben, des größeren auf ihnen lastenden Druckes wegen, eine größere Spannkraft, als die weiter aufwärts entstandenen, und nehmen beim Aufsteigen eine dem verminderten Drucke entsprechende Dichte, Spannkraft und Temperatur an. An der Oberfläche der Flüssigkeit angelangt, ist ihre Spannkraft dem Drucke der Atmosphäre gleich, und wird demnach durch den

jeweiligen Barometerstand gemessen. Die Temperatur des austretenden Dampfes, oder was dasselbe ist, jene der obersten siedenden Schichte ist der genaue Siedpunct unter dem herrschenden Luftdrucke. Der Siedpunct einer Flüssigkeit wird durch chemische Verbindung mit einer andern, die erst bei einer höheren Temperatur siedet, erhöht. So z. B. siedet Wasser in Verbindung mit Schwefelsäure schwerer als reines Wasser, Weingeist mit Wasser gemischt, schwerer als Alkohol; auch bei allen wässerigen Salzauflösungen liegt der Siedpunct höher als bei reinem Wasser, aber die beim Sieden entstandenen Dämpfe haben dieselbe Temperatur und Spannkraft, wie die aus dem reinen Wasser entwickelten, vorausgesetzt, daß sie reine Wasserdämpfe sind (Rudberg in Pogg. Ann. 34. 257, und Prechtl in seiner technol. Encyklopädie, B. 3. 507). Merkwürdig ist es, daß eine Flüssigkeit durch einen gepulverten oder porösen Körper, z. B. durch ein Stück weiches Holz, zum Sieden kommt, wenn es auch noch nicht die hiezu ohne Beihilfe eines solchen Mittels nöthige Temperatur besitzt. Daß sich mit der Verflüchtigung eines Bestandtheiles beim Sieden auch der Siedpunct ändern müsse, ist klar, und hierin liegt der Grund, warum gemischte Flüssigkeiten in der Regel einen veränderlichen Siedpunct haben. Auch solche Flüssigkeiten, die aus zwei chemisch nicht auf einander wirkenden, in Schichten getheilten Flüssigkeiten bestehen, haben einen veränderlichen Siedpunct, und dieser liegt zwischen dem Siedpuncte der flüchtigeren Flüssigkeit und jener Temperatur, bei welcher die Summe der Spannkräfte der Dämpfe beider Bestandtheile dem Luftdrucke gleich ist. Ist demnach die flüchtigere Flüssigkeit die obere, so siedet sie bei ihrem natürlichen Siedpuncte; ist sie aber die untere, so beginnt sie erst zu sieden, wenn ihre Dämpfe eine Spannkraft haben, welche dem auf ihr lastenden Drucke gleich ist. Treten aber diese Dämpfe in die obere Flüssigkeit ein, so bildet der Raum, den sie einnehmen, für die Dünste dieser oberen Flüssigkeit ein Vacuum; es bilden sich aus dieser Dünste, und der Druck derselben hilft den von unten kommenden den Luftdruck ertragen. Es erfolgt darum eine Ausdehnung der Dämpfe bis zu dem Grade, wo Dampf und Dunst eine dem Luftdrucke gewachsene Spannkraft haben, und bei dieser Temperatur siedet die ganze Flüssigkeit.

Auf dem Montblanc siedet Wasser schon bei $86^1/_2$° C., auf dem Pic von Teneriffa bei 88°,7 C., in Quito bei 90°,1, in Mexico bei 92°,3; im Hospiz auf dem St. Bernhard hat siedendes Wasser nur die Hitze von $92^1/_4$°, und man kann darin Rindfleisch nicht weich kochen. Da die Siedhitze des Wassers mit dem Luftdrucke, und dieser mit der Höhe eines Ortes über der Meeresfläche innig zusammenhängt, so hat man ein sehr empfindliches Thermometer (das $^1/_{1000}$ eines Grades anzeigt) auch zum Höhenmessen empfohlen, worüber in der Folge mehr.

Tabelle der Sied- und Schmelzpuncte einiger Körper.

Schmelzpuncte.		Siedpuncte.	
Gußeisen	1138° C.	Quecksilber	350° C.
Gold	2884	Leinöhl	315
Silber	2596	Schwefelsäure	310
Kupfer	2524	Phosphor	290
Messing	2092	Terpentinöhl	273
Zink	371	Kali	140
Blei	312	Bleizuckerlösung	102
Zinn	227	Alkohol	79,7
Phosphor	37	Schwefeläther	73,8
Milch	— 1	Salpetrige Säure	28
Quecksilber	—39	Salpeteräther	20
Schwefeläther	—44	Schwefelige Säure	—10

431. Die Dampfbildung beim Sieden erfolgt auf Kosten eines Antheils freier Wärme, welche gebunden wird. Davon überzeugt man sich schon durch das einfache Factum, daß man unter denselben Umständen die Temperatur einer siedenden Flüssigkeit nicht weiter steigern kann. Vermehrt man den Zufluß der Wärme, so wird nur die Dampfbildung verstärkt, aber weder die Temperatur der Flüssigkeit, noch die des Dampfes erhöht Diese Wärme wird wieder frei, wenn der Dampf in tropfbaren Zustand übergeht.

Man kann die Wärmemenge, welche beim Uebergange einer gewissen Quantität irgend einer tropfbaren Flüssigkeit in Dampf gebunden, beim entgegengesetzten Prozesse wieder frei wird (Verdunstungswärme), durch einen einfachen Versuch bestimmen Man nehme den Apparat, Fig 374, fülle in A die Flüssigkeit ein, welche ausdehnsam werden soll, und lasse die Dämpfe durch die Röhre B in einen schlangenförmigen Ansatz C gelangen, der von einer bestimmten Menge kalten Wassers umgeben ist, damit sie daselbst zersetzt werden, und die gebundene Wärme an das Wasser abgeben. Es bedeute nun T und M die Temperatur und Menge der Dämpfe, C die Wärmecapacität der aus den Dämpfen entstehenden tropfbaren Flüssigkeit, t und m die Temperatur und Masse des Wassers, das die Schlangenröhre umgibt, vor dem Versuche, t′ die Temperatur desselben nach dem Versuche, $x\sigma$ die von einer Dampfmenge = 1 gebundene Wärme, wobei σ wie immer die specifische Wärme des Wassers anzeigt, so daß x die Anzahl Grade, um welche man die Temperatur einer Masse Wasser = 1 damit erwärmen könnte, d. h. die Verdünstungswärme in Thermometergraden ausdrückt, Man hat, nach Weglassung des allen Gliedern gemeinschaftlichen Factors σ, da die Dämpfe sich im Maximum der Spannkraft für die Temperatur T befinden, mithin bei der geringsten Abkühlung in tropfbaren Zustand übergehen, die Gleichung

$$C M (T - t') + M x = m (t' - t), \text{ und hieraus}$$

$$x = \frac{m (t' - t) - C M (T - t')}{M}.$$

Auf diesem Wege hat man gefunden, daß man mit der Wärmemenge, welche man braucht, um Wasser von 100° C. in Dampf von derselben Temperatur zu verwandeln, eine gleiche Menge Wasser von 0° auf 531° C. bringen könnte. Auf gleiche Weise würde man mit der Wärme, womit siedend heißer Alkohol oder Schwefeläther in Dämpfe verwandelt wird, eine gleiche Menge des ersteren um 332°, des letzteren um 174°,5 C.

erwärmen können. (*Despretz in Ann. de Ch.* 24. 323.) Heißt demnach die Wärmemenge, welche eine Wassermasse von der Temperatur = 100° C. enthält = 1, so ist die in einer gleichen Dampfmasse von der Temperatur 100° enthaltene Wärmemenge = 6,31. In thermischer Hinsicht ist demnach eine Masse Wasserdampf von 100° C. mit einer 6,3mal größeren Wassermasse von 100°C. gleichwerthig. Aus dem Binden der Wärme beim Sieden und dem Freiwerden derselben bei der Zersetzung der Dünste erklären sich viele Phänomene: Warum ein zinnernes Gefäß beim heftigsten Feuer nicht schmilzt, so lange Wasser darin ist, der Nutzen des Wasserbades beim Erhitzen gewisser Körper, die Erhitzung des Kühlwassers beim Destilliren rc.

432. Es ist bekannt, daß Flüssigkeiten nicht bloß bei der Siedhitze, sondern auch weit unter dieser verdünsten, ja daß sogar manche feste Körper, wie z. B. Eis, Kampfer, Jod, bei einer Temperatur, bei welcher sie nicht einmal tropfbar werden können, Dünste liefern; jedoch entstehen sie nur an der Oberfläche ohne die mindeste Bewegung der verdünstenden Masse. Früher war man der Meinung, daß Flüssigkeiten bei jeder Temperatur verdünsten; aber Faraday hat gezeigt, daß es für jede Flüssigkeit eine gewisse Temperatur gebe, unter welcher sie keine Dünste mehr liefert. So z. B. ist Quecksilber unter 5° R., Schwefelsäure bei der gewöhnlichen Luftwärme fix. Diese Grenztemperatur ist diejenige, bei welcher die entstehenden Dünste eine Spannkraft haben, die mit ihrer Schwere und mit dem Drucke der schon vorhandenen Dünste im Gleichgewichte steht. So wie die Temperatur unter diese Grenze hinabsinkt, reicht schon der Druck der, wenn auch nur in geringer Menge vorhandenen Dünste hin, die abstoßende Kraft der obersten Flüssigkeitstheile zu gewältigen, und es werden die Theile einer Flüssigkeit oder eines festen Körpers stärker nach abwärts oder zu den gleichartigen Theilen derselben Masse hingezogen, als sie durch ihr Bestreben, expansibel zu werden, aufwärts und von dem Reste des Körpers weggetrieben werden können. Wiewohl dem Wasser beigemengte Oehle bei einer bestimmten Temperatur überdestilliren, so wird doch bei dem gewöhnlichen Wärmegrade die Flüchtigkeit derselben durch Wasser nicht erhöht. (Faraday in Zeitschr. 2. 226. Pogg. Ann. 19. 545.)

433. Im luft- und dunstleeren Raume bildet sich fast augenblicklich von einer Flüssigkeit so viel Dunst, als darin bestehen kann; enthält dieser Raum aber schon Luft oder irgend einen anderen Dunst, so wirken diese als mechanische Hindernisse den neu zu bildenden Dünsten entgegen und verzögern die Verdünstung. Ganz unterdrückt wird sie aber bei einer Temperatur, bei welcher die Flüssigkeit noch nicht fix ist, nur durch schon vorhandene Dünste von der größten Spannkraft. Darum wird die Verdünstung durch Erhöhung der Temperatur, durch Wegschaffen der schon gebildeten Dünste, durch Verdünnen der Luft und durch Vergrößern der Oberfläche der verdünstenden Flüssigkeit gesteigert; darum befördert der Wind im Freien die Verdünstung der Flüssigkeiten so sehr, und darum verdünstet eine gegebene Menge Wasser schneller, wenn man sie auf den Boden spritzt oder von einem Tuche,

von Sand rc. auffaugen läßt, als wenn man sie in einem engen Gefäße der Luft aussetzt; darum verdünstet eine Flüssigkeit aus einem Haarröhrchen, wo sie am Rande stark in die Höhe gezogen wird und eine relativ größere Oberfläche annimmt, reichlicher, als aus einem weiteren Gefäße (Pogg. Ann. 26. 463.) Auf dem Verdünsten beruht das Trocknen nasser Körper, das Gradiren der Salzsoolen rc. Man begreift leicht, daß von einem Gemische zweier Flüssigkeiten nicht jeder Bestandtheil unter denselben Umständen gleich schnell verdünstet, daß z. B. Weingeist, Branntwein rc. in offenen Gefäßen schwächer werden muß, weil die Luft in der Regel wohl frei von Weingeist- aber nicht von Wasserdünsten ist, und daher erstere leichter entstehen als letztere. Bei Dünsten, welche aus einer Salzlösung unter der Siedhitze entstehen, herrscht zwischen ihrer Spannkraft und Temperatur nicht dasselbe Verhältniß wie bei den aus reinem Wasser gebildeten, und dadurch unterscheiden sich demnach wieder Dünste von Dämpfen.

434. Dünste werden unter der Siedhitze nicht minder als bei der Siedhitze auf Kosten von gebundener Wärme gebildet. Mehrere Physiker haben aus ihren Versuchen geschlossen, daß eine bestimmte Dampfmasse immer gleich viel Wärme im freien und gebundenen Zustande zusammen genommen enthalte, dieselbe mag bei was immer für einer Temperatur entstanden seyn und unter was immer für einem Druck stehen. Spätere Versuche haben zwar dieses Gesetz in Zweifel gezogen, allein die neuesten Untersuchungen von Pambour haben jedes Bedenken beseitiget, und man kann annehmen, es sey in einer gegebenen Dunstmenge die Summe der freien und gebundenen Wärme immer dieselbe, und von Druck und Temperatur unabhängig. Diese Summe beträgt bei Wasserdampf, der sich bei 100° C. gebildet hat, offenbar $= 100 + 531 = 631°$ und eben so groß muß sie demach auch für Dampf von jeder anderen Temperatur seyn. Die latente Wärme des Dampfes, der sich bei der Temperatur $t°$ bildet, ist demnach $631° - t°$.

435. Wenn das Sieden durch eigens zugeführte Wärme hervorgebracht wird, so liefert diese das zur Dampfbildung nöthige Quantum, und das Stattfinden der Wärmebindung hat nur im letzteren die Temperaturerhöhung der Flüssigkeit zur Folge. Bei der freien Verdunstung, wo kein künstlicher Wärmezufluß Statt findet, muß aber die zur Dunstbildung nöthige Wärme aus der Umgebung genommen werden und für dieselbe verschwinden. Daher ist jede Verdunstung von einer Erkältung begleitet.

Vom Binden der Wärme bei der Dunstbildung rührt die Kälte her, welche man nach einem Bade empfindet, die Abkühlung der Luft durch einen Regen oder durch Ausspritzen von Wasser, die Gefahr einer zu starken Abkühlung nach dem Schweiße, die empfindliche Wirkung feuchter Winde, die Wirkung der Alkarazzas (poröser Thongefäße) der Spanier, die Möglichkeit in einem sehr stark erhitzten Raume auszuhalten, wie dieses mit Solander, Banks und Blagden in einer Temperatur von mehr als 127° C. der Fall war. Setzt man ein Schälchen Wasser in ein größeres Gefäß mit Schwefeläther, und bringt beide unter den Recipienten der Luftpumpe, so kann man durch fleißiges Verdünnen

der Luft das Wasser zum Frieren bringen. Dasselbe kann man auch erreichen, wenn man statt des Aethers Schwefelsäure nimmt, welche die entstandenen Wasserdünste absorbirt. Befeuchtet man die Kugel eines in einem Recipienten befindlichen Thermometers mit Schwefeläther, stellt ein Schälchen mit Schwefelsäure in die Nähe und verdünnt dann die Luft, so kann eine bis zum Gefrieren des Quecksilbers steigende Erkaltung hervorgebracht werden. Auch durch Verdünsten der flüssigen schwefligen Säure kann man Quecksilber zum Gefrieren bringen. Wollaston's Kryophor gibt einen ferneren Beleg für obige Behauptung ab. Dieser besteht (wie Rumford's Thermoskop) aus zwei Glaskugeln, die durch eine ziemlich lange Glasröhre mit einander verbunden sind. Eine derselben enthält Wasser, übrigens ist der ganze Apparat luftleer. Taucht man die leere Kugel in Schnee oder Eis, so friert das Wasser in der anderen. Daniell's, Körners, Leslie's Hygrometer beruhen auch auf der Wärmebindung beim Verdünsten. Durch Verdünsten der tropfbaren Kohlensäure hat man eine nahe an 100° C. gehende Kälte hervorgebracht.

Nach den hier dargestellten Gesetzen läßt sich auch die Formel rechtfertigen, welche im ersten Theile 267 zur Berechnung der Spannkraft der in der Luft enthaltenen Dünste nach den Anzeigen des Thermohygrometers angegeben wurde. Es ist nämlich bei diesem Instrumente immer ein kleiner mit der befeuchteten Thermometerkugel concentrischer Raum mit Wasserdunst gesättigt. Ein Theil dieses Dunstes war schon vorhanden, und um dessen Spannkraft handelt es sich eigentlich; der andere ist erst durch Verdünstung des Wassers am Kugelüberzuge entstanden. Letzterer wurde auf Kosten der Wärme gebildet, welche die Luft und der ihr beigemengte Dunst bei dem Uebergange von der herrschenden Lufttemperatur zu jener, welche das stationär gewordene befeuchtete Thermometer anzeigt, abgegeben haben. Nennt man nun die Temperatur des trockenen Thermometers t, die des benetzten t', das Gewicht der Luft in dem Raume, aus welchem dem verdünstenden Wasser Wärme zufließt, p, das Gewicht des darin ursprünglich enthaltenen Dunstes q, und das Gewicht des neu entstandenen Dunstes s; ferner die Wärmecapacität der Luft c, jene des Dunstes γ, beide auf constanten Druck bezogen und durch die Capacität des Wassers gemessen, dessen specifische Wärme σ sey; endlich die Dunstwärme des Wassers für 0° C. in Temperaturgraden ausgedrückt λ; so besteht, da die hergegebene Wärmemenge $p(t - t')c\sigma + q(t - t')\gamma\sigma$ der consumirten $s(\lambda - t')\sigma$ gleich seyn muß, die Gleichung

$$(pc + q\gamma)(t - t') = s(\lambda - t').$$

Es sey b der herrschende Barometerstand, e die zu bestimmende Spannkraft des Dunstes in der Luft, e' das Maximum dieser Spannkraft für die Temperatur t' des benetzten Thermometers, mithin $b - e$ der Druck, unter welchem die Luft, $e' - e$ jener, unter welchem der neuzugewachsene Dunst steht; ferner sey $\alpha : 1$ das Verhältniß der Dichte des Dunstes zu jener der Luft bei gleicher Spannung und gleicher Temperatur; so hat man nach I. 246

$$p : q = b - e : \alpha e, \text{ d. h. } q = \frac{\alpha e p}{b - e'}, \text{ und eben so } s = \frac{\alpha(e - e)p}{b - e}.$$

Diese Resultate in obige Gleichung eingeführt, geben nach Weglassung des allen Gliedern gemeinschaftlichen Factors p, und nach Wegschaffung des Nenners $b - e$, wenn man zur Abkürzung d statt $t' - t$ schreibt.

$$[c(b - c) + \alpha\gamma e]\, d = \alpha(e' - e)(\lambda - t'),$$

oder $[\alpha(\lambda - t') + (\alpha\gamma - c)d]\, e = \alpha(\lambda - t')\, e' - cbd,$

woraus

$$e = \frac{\alpha(\lambda - t')e' - cbd}{\alpha(\lambda - t') + (\alpha\gamma - c)d}$$ folgt.

Die Erfahrung gibt $c = 0{,}2669$, $\gamma = 0{,}8470$, $\alpha = 0{,}62$, $\lambda = 631$, in sofern die Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale bestimmt werden. Hiernach kann obige Formel leicht zur numerischen Rechnung vorgerichtet werden. Wegen der bedeutenden Größe von λ kann man, der in der Ausübung erreichbaren Genauigkeit unbeschadet, den zweiten Theil des Nenners nämlich $(\alpha\gamma - c)\, d$ weglassen; man erhält sonach

$e = e' - \frac{cbd}{\alpha(\lambda - t')}$ und wenn man noch t' in Bezug auf λ vernachläßiget,

$e = e' - \frac{c}{\alpha\lambda}\, bd$. Man findet näherungsweise $\frac{c}{\alpha\lambda} = 0{,}0007$.

Ist die Thermometerkugel mit einer Eisrinde überzogen, so muß man zu λ noch 75° hinzufügen, und erhält für den Werth des Coefficienten im zweiten Gliede 0,0006. Indessen werden diese Coefficienten von verschiedenen Physikern etwas höher angenommen als sie diese Rechnung gibt, von der sie nur die Form des Ausdruckes entlehnen. In der That kann man, wenn man $e = e' - A\, bd$ annimmt, den Werth des Coefficienten A indirect durch Vergleichung der Anzeigen des Schwefelätherhygrometers mit jenen des Psychrometers bestimmen. August (über die Fortschritte der Hygrometrie in der neuesten Zeit, Berlin 1830) setzt

$$e = e' - \frac{0{,}558\, bd}{\lambda - t'},$$

während der numerische Coefficient in dieser Formel nach Obigem $= \frac{c}{\alpha} = 0{,}43$ seyn würde. Die Formeln S. 216 halten das Mittel zwischen den verschiedenen Angaben.

C. Anwendungen des Dampfes.

436. Auf den Gesetzen der Dampfbildung beruht der **Destillationsproceß**. Diesen leitet man ein, um aus einem Gemenge flüchtiger und nicht flüchtiger Substanzen erstere von letzteren zu trennen. Er besteht im Wesentlichen darin, daß man das Gemenge einer Temperatur aussetzt, wo sich die flüchtige Substanz in Dampf verwandelt und dann diese Dämpfe durch Abkühlen tropfbar macht. Im Kleineren destillirt man aus Retorten, im Großen aus eigenen **Kesseln oder Blasen**, und die Zersetzung des Dampfes bewirkt man im ersten Falle in einer kleinen Vorlage, die durch Zutröpfeln von Wasser stets kalt erhalten wird, im letzteren in einem meistens schlangenförmigen, durch kaltes Wasser geführten Rohr. Die ganze Zersetzungs-Vorrichtung heißt **Kühlapparat**. Man geht stets darauf aus, die größtmögliche Fläche der Blase dem Feuer und die größtmögliche Fläche des Kühlers dem Wasser auszusetzen. Zwischen beiden Flächen muß das gehörige Verhältniß herrschen. Nicht immer braucht man zum Behufe der Destillation die Flüssigkeit zur Siedhitze zu bringen, man kann die Dampfbildung auch durch Verdünnen der Luft über der Flüssigkeit befördern, und wie man zu sagen pflegt, im leeren Raume destilliren. Dabei erzielt man aber keine Ersparung an Brennstoff, weil dieselbe Dunstmenge stets zum Entstehen dieselbe Wärmemenge

braucht; allein oft ist es wichtig, eine starke Erhitzung des zu destillirenden Körpers zu vermeiden, und in einem solchen Falle ist die Destillation im leeren Raume vom Nutzen. Wenn ein Gemenge Flüssigkeiten von verschiedenem Grade der Flüchtigkeit enthält, so bilden sich in der Regel von allen diesen gleichzeitig Dämpfe, jedoch von der flüchtigeren mehr als von den anderen, und man erhält demnach auch ein aus allen diesen Flüssigkeiten bestehendes Destillat, worin aber der flüchtigere Bestandtheil das Uebergewicht hat. Da muß man nun durch mehrere auf einander folgende Destillationen eine weitere Concentration bewirken.

Unter allen Destillationen ist jene des Weingeistes aus der sogenannten Maische am meisten raffinirt. Man hat dazu eigene, zum Theile sehr zusammengesetzte Apparate, durch welche man schon bei der ersten Destillation sehr starken Weingeist gewinnt, und das Anfangs erhaltene Destillat nicht noch ferner zu concentriren braucht. Die Dämpfe kommen in der Regel mit einer Temperatur von 80° C. in den Kühlapparat, und die mittlere Wärme des Kühlwassers kann da, wo es mit den Kühlröhren in Berührung steht, auf 51° C. gesetzt werden. Da condensiren 10 Quadratfuß Fläche der Kühlröhren in 1 Minute $1\frac{1}{2}$ Pfd. Flüssigkeit. Für 1 Q. Fuß der Kühlröhren rechnet man bei gewöhnlichen Apparaten ohne Vorwärmer $\frac{1}{2}$ Q. Fuß Feuerfläche der Blase, bei Apparaten mit Vorwärmen aber 2—3 Q. Fuß. (Otto's Lehrbuch der rationellen Praxis der landwirthschaftlichen Gewerbe. Braunschweig 1840.)

437. Die große Menge der vom Wasserdampf gebundenen Wärme macht denselben vorzüglich geeignet, Wärme von einem Orte zum anderen ohne merklichen Verlust zu übertragen, und daher kommt es, daß man ihn dazu verwendet, Flüssigkeiten zu erhitzen und Gemächer zu erwärmen. Man erzeugt den Dampf in einem eigenen Kessel und leitet ihn in metallenen Röhren in die zu erhitzende Flüssigkeit oder durch den zu beheizenden Raum. In dem Maße, als der Dampf Wärme an die die Röhren umgebende Masse abtritt, wird er selbst zersetzt und das aus dem Dampfe erzeugte Wasser wird entweder wieder in den Kessel zurück geleitet, um neuerdings zu verdampfen, oder es gelangt ins Freie und fließt daselbst ab. Wenn man durch Wasserdampf Wasser erhitzen will, kann man ihn gleich in letzteres unmittelbar leiten. Soll durch Dampf ein Locale beheizt und bei einer bestimmten Temperatur erhalten werden, so muß so viel Dampf zugeleitet werden, daß der Luft die nach außen abgegebene Wärme wieder von den Dampfröhren zurück erstattet wird; dazu gehört eine angemessene Größe des Dampfkessels und eine entsprechende Oberfläche der Dampfröhren.

Aus dem Vorhergehenden ist bekannt, daß 1 Pfd. Wasserdampf von 100° C. an die Umgebung 531° Wärme abgibt, wenn er in Wasser von 100° verwandelt wird. Man kann also durch eine bestimmte Dampfmenge von 100° C. eine 5mal größere Wassermasse von 0° C. zum Sieden bringen. 1 Pfd. Dampf kann 1 Pfd. Wasser von 0 auf 531°, oder da die Capacität der Luft 0,2669 von jener des Wassers ist, 1 Pfd. Luft auf $\frac{531^\circ}{0,2669} = 1989^\circ,5$ erhitzen. Da 1 Pfd. Luft von 0° C. einem Luftvolum

von 13,6 K. Fuß entspricht, so kann man sagen, 1 Pfd. Wasserdampf von 100° C. erhitzt beim Uebergange in Wasser von 100° C. 13,6 K. Fuß Luft von 0° auf 1989°,5. Daraus geht hervor, daß man zur Erwärmung von K Kubikfuß Luft um t — t' Grade ein Wasserdampfquantum q braucht, welches durch

$$q = \frac{K(t - t')}{13{,}6 \times 1989{,}5} = \frac{K(t - t')}{27057}$$

ausgedrückt wird. Ein Locale, in welchem in 1 Minute K Kubikfuß Luft durch äußere Einflüsse um t — t' abgekühlt werden, kann demnach nur durch einen Zufluß von q Pfd. Dunst von 100° in 1 Minute bei constanter Temperatur erhalten werden. Da, wie die Erfahrung lehrt, ein Kessel, der in 1 Min. 1 Pfd. Dampf liefern soll, 10 Q. Fuß Heizfläche haben muß, so wäre im vorerwähnten Falle eine Heizfläche von 10 q nöthig. Clement hat durch Erfahrung die für verschiedene Gegenden nöthigen Röhrenoberflächen angegeben wie folgt: Für England, wo das Klima sehr mild ist, für 100 K. Fuß Zimmerraum, $1\frac{1}{2}$ Q. Fuß gußeiserne Röhrenfläche, für das kältere nördliche Frankreich (das mit unseren Gegenden harmoniren dürfte) für 60 K. F. Zimmerraum 1 Q. Fuß Röhrenfläche. Bayley gibt den Heizraum, der durch 1 Q. Fuß Röhrenfläche geheizt wird für England) folgendermaßen an: Für ein Ananashaus 20 K. Fuß, für Trauben und Pfirsiche 40 K. Fuß, für Orangen 80 — 100 K. Fuß, für Speisezimmer 150 K. Fuß, für Theater, Ateliers, Kirchen 200 K. Fuß. Es ist klar, daß dieses nur Durchschnittswerthe sind, die unter besonderen Umständen starke Modificationen erleiden müssen.

438. Die wichtigsten Dienste leistet der Wasserdampf durch seine Expansivkraft, indem er dadurch die bewegende Kraft der Dampfmaschinen abgeben kann. Er wird zu dessen Ende in einem eigenen Kessel, dem Dampfkessel, mittelst Hitze erzeugt, gelangt von da in den sogenannten Dampfcylinder, drückt auf den in diesem befindlichen, luftdicht schließenden aber beweglichen Kolben, und treibt ihn vor sich hin bis zu einer bestimmten Grenze. Ist diese erreicht, so wird der bisher wirksam gewesene Dampf ins Freie gelassen, und ein anderer tritt aus dem Kessel an der entgegengesetzten Seite des Kolbens ein und bewegt diesen wieder zurück, wird aber, wenn er dieses bewirkt hat, selbst wieder ins Freie gelassen und dadurch unwirksam gemacht, wornach das Spiel des Kolbens von Neuem beginnt, so, daß nun dieser durch den Dampf abwechselnd hin und her bewegt wird. Mit dem Kolben steht eine durch eine Stopfbüchse luftdicht gehende Stange, Kolbenstange genannt, in Verbindung, nimmt an der Bewegung desselben Antheil, und pflanzt sie zum Balancier, einem zweiarmigen gleicharmigen starken Hebel fort. Dieser überträgt sie mittelst einer beweglichen Stange an eine Kurbel, die sich mit einem Schwungrad an derselben Axe befindet, und so wird die hin und hergehende Bewegung des Kolbens und Balanciers in eine drehende des Schwungrades, und wenn es erforderlich ist, anderer damit verbundener Räder verwandelt. Aus diesem geht hervor, daß die wesentlichen Bestandtheile einer Dampfmaschine der Kessel, Cylinder und Kolben seyen. Doch gilt dieses nur von einer bestimmten und zwar der einfachsten Art der Dampfmaschinen. Da in einer solchen der ausgediente Dampf ins Freie geht,

so muß der arbeitende Dampf eine große Spannung, wenigstens von 2—3 Atmosphären haben. Man nennt sie darum auch Hochdruckmaschinen. Um mit Dampf von geringerem Drucke arbeiten zu können, muß der ausgediente Antheil desselben nicht ins Freie gelassen, sondern zu Wasser condensirt, und so gleichsam auf einer Seite des Kolbens ein Vacuum erzeugt werden. Dieses geschieht in einem besonderen Behälter, Condensator genannt, durch eingespritztes kaltes Wasser. Maschinen der Art heißen darum auch Condensationsmaschinen. Eine solche kann wohl auch mit hoch gespanntem Dampf arbeiten, in der Regel geschieht dieses aber nicht, und der arbeitende Dampf hat selten eine Kraft über $1\frac{1}{2}$ Atmosphären. Meistens treibt der Dampf den Kolben abwechselnd nach beiden entgegengesetzten Richtungen, und die Maschine heißt darum doppelt wirkend, doch gibt es auch solche, wo der Kolben nur nach einer Richtung durch den Dampf getrieben, nach der anderen aber durch den Druck der Atmosphäre und ein Gegengewicht bewegt wird; sie heißen einfach wirkende. Man pflegt heut zu Tage den Dampf nicht fortwährend zum Kolben strömen zu lassen, bis derselbe das Ende seiner Bahn erreicht hat, sondern sperrt ihn früher ab. Man sagt dann, die Maschine arbeitet mit Expansion. Die meisten Dampfmaschinen haben feste Cylinder, doch gibt es auch solche mit oscillirenden Cylindern. Nicht alle haben einen Balancier, sondern manchmal greift die Kolbenstange unmittelbar in ein Räderwerk ein und setzt es in Bewegung; ja man hat sogar darauf gedacht, Maschinen zu erfinden, wo der Kolben nicht hin und hergeht, sondern sich selbst dreht. Eine solche Maschine ist gar einfach gebaut. Im Allgemeinen kann man doppelt wirkende Condensationsmaschinen mit niederem Druck und doppelt wirkende Hochdruckmaschinen, beide mit festem Cylinder und mit Balancier, und nach dem Expansionsprincip eingerichtet, für die verbreitetsten ansehen. Jede Dampfmaschine hat außer der eigentlichen Nutzlast noch mehrere Nebenlasten zu bewegen, die ihr angehängt werden, um ihren eigenen Gang zu unterhalten. Sie muß sich das Wasser für den Kessel und für den Condensator pumpen, die Steuerung bewegen, welche den Dampf bald unter bald über den Cylinder gelangen läßt, den Regulator handhaben, der einem zu schnellen oder ungleichen Gange vorbeugt, wenn sie einen Condensator hat, den Einspritzhahn dirigiren, Luft und Wasser aus dem Condensator pumpen. Man hat sogar Dampfmaschinen, die sich selbst Brennstoff zulegen und den Luftzug reguliren ꝛc.

Man kann sich wohl denken, daß ein so complicirtes Werk, wie eine Dampfmaschine ist, nicht gleich in ihrer gegenwärtigen Vollkommenheit aus den Händen ihres Erfinders gekommen sey; doch ist es merkwürdig, daß alle wahrhaft großen und nützlichen Verbesserungen dieses mächtigen Triebwerks von einem einzigen Menschen, J. Watt, erfunden worden sind. Wenn man schon eine Vorrichtung, bei welcher Wasserdampf eine Bewegung hervorbringt, eine Dampfmaschine nennen will, so ist Hero von Alexandrien, der 120 Jahre v. Ch. lebte, der Erfinder derselben; denn in der von ihm angegebenen Maschine

wird eine hohle, mit Wasserdampf gefüllte metallene Kugel durch Rückwirkung des herausströmenden Dampfes in drehende Bewegung gesetzt. Schließt man aber derlei Apparate als nicht hieher gehörig aus, so beginnt die Geschichte der Dampfmaschinen mit einem Patente, welches Savery, ein englischer Capitän, i. J. 1698 auf eine Maschine erhielt, in welcher mittelst Wasserdampf die Luft aus einem Pumpenstiefel vertrieben, und hierauf durch Abkühlen ein leerer Raum darin erzeugt wurde, in welchen nun das Wasser aus einem Brunnen durch den Luftdruck emporstieg. Arago hält Caus für den Erfinder der Dampfmaschine. Diese in jeder Hinsicht sehr unvollkommene Vorrichtung wurde durch Newcomen i. J. 1705 dadurch wesentlich verbessert, daß er über dem Dampfkessel einen hohlen Cylinder mit einem beweglichen Kolben anbrachte, welcher durch den Dampf gehoben wurde, und wenn er den höchsten Punct erreicht hatte und durch eingespritztes Wasser die Dämpfe verdichtet waren, durch den Druck der Atmosphäre wieder hinabsank. Durch abermaliges Zulassen des Dampfes konnte der Kolben neuerdings zum Steigen und durch Verdichten desselben wieder zum Sinken gebracht, und so eine anhaltende Bewegung unterhalten werden. Die ersten Maschinen hatten eine Hahnsteuerung, man mußte jedoch den Hahn mit freier Hand bewegen; aber ein Knabe, Humphry Potter, der diesem Geschäfte keinen Geschmack abgewinnen konnte, verfiel auf den Gedanken, es der Maschine selbst zu übertragen und führte ihn alsogleich aus, indem er den Kopf des Hahnes mittelst Schnüren mit dem bewegten Mechanismus verband. Ungeachtet dieser Verbesserung war die genannte Maschine noch immer mangelhaft; insbesondere verursachte das Einspritzen des Wassers in den Cylinder und die den oberen Theil des Kolbens frei berührende Luft eine sehr große Abkühlung. Diese vermied J. Watt dadurch, daß er den Cylinder luftdicht schloß, die Kolbenstange durch eine Stopfbüchse gehen ließ, und so der Luft den Zutritt zum Kolben verwehrte, noch mehr aber durch Erfindung des Condensators, der neben dem Cylinder befindlich, den Dampf von ihm aufnahm, und ihn durch eigens eingespritztes Wasser verdichtete, ohne den Cylinder mit dem kalten Wasser in Berührung zu bringen. Nun war zwar die Maschine zu Arbeiten geeignet, bei denen nur ein Zug nach einer Richtung nöthig ist, wie z. B. zum Wasserheben, man konnte sie aber nicht zum Betriebe von Maschinen brauchen, die eine ununterbrochene Kraft fordern, weil die Wirkung des Dampfes nur einseitig war. Watt setzte seinen Verbesserungen die Krone auf, indem er doppelt wirkende Maschinen baute, und sie demnach zur Erzeugung jeder Bewegung qualificirte. Später hat er auch das Princip der Expansion bei seinen Maschinen angewendet. Eine Watt'sche Dampfmaschine mit doppelter Wirkung stellt Fig. 375 vor. Von der Röhre A kommt der Dampf durch a oder b mittelst der Steuerung c in den Cylinder B, und bewegt den Kolben C, mit dessen Stange E der Balancier F in Verbindung steht, welcher dem Schwungrade G seine Bewegung mittheilt. Der Dampf, welcher ausgedient hat, gelangt durch die Röhre d in den Condensator H, welcher in einer Cisterne M mit kaltem Wasser steht, und dieses durch den Injectionshahn e eingespritzt erhält. Das im Condensator erwärmte Wasser wird nebst der entwickelten Luft durch die Pumpe I herausgepumpt, und ein Theil davon in den Behälter K gebracht, von wo es durch eine andere Pumpe f in den Dampfkessel gelangt, und zur Speisung desselben dient. Der Cisterne führt die Pumpe L kaltes Wasser zu. Alle diese Pumpen stehen mit dem Balancier in Verbindung, und werden durch ihn in Thätigkeit gesetzt. Bei der in M besonders abgebildeten Stellung der Steuerung gelangt der Dampf

aus dem Kessel unter den Kolben, und der über dem Kolben befindliche in den Condensator. Wird die Steuerung in die Stellung N gebracht, so können die Dämpfe über den Kolben, und die unter ihm befindlichen in den Condensator gelangen. Wenn die Steuerung schon verschoben und der Dampfzutritt schon aufgehoben wird, bevor der Kolben sein Ziel erreicht hat, arbeitet die Maschine mit Expansion. Man kann dasselbe auch dadurch erreichen, daß man den ausgedienten Dampf in einen zweiten größeren Cylinder treibt und ihn dort einen zweiten Kolben bewegen läßt, wie dieses in Woolfs Maschinen geschieht. Alle Condensationsmaschinen sind voluminös und schwer, und fordern viel Wasser für den Kessel und Condensator. Diesem helfen Hochdruckmaschinen ab, an die schon Watt gedacht, die aber zuerst Trevithick in England und Evans in Amerika ausgeführt haben. Zum Betreiben von Wagen auf Eisenbahnen kann man nur Hochdruckmaschinen brauchen. Eine solche Locomotivmaschine hat zwei Cylinder, die aus einem Kessel gespeist werden. Die Bewegung jeder der Kolben theilt sich mittelst einer Kurbel einer Welle mit, welche hiedurch umgedreht wird. An dieser Welle sind die zwei Triebräder des Locomotivs befestiget, und diese machen demnach bei jedem Hin- und Hergang der Kolben eine Umdrehung, und die Maschine legt einen dem Umfange der Triebräder gleichen Weg zurück. Der Kessel eines Locomotivs ist der besonders sinnreich eingerichtete Bestandtheil derselben. Er besteht aus einem blechernen Kasten, an dessen einem Ende die Feuerung, am anderen ein Rauchfang angebracht ist, durch sein Inneres gehen der Länge nach eine Anzahl (60 — 120) metallener Röhren, die beiderseits offen sind, an der Feuerkastenwand beginnen und an der Rauchkastenwand enden. Sie sind von Wasser umgeben und werden vom Feuer durchstrichen. Sie bedingen die Feuerfläche, welche zur Erzeugung einer so großen Quantität Dampf nöthig ist. Man nimmt an, daß für jeden Quadratfuß Heizfläche bei einer Geschwindigkeit von 4 Meilen in der Stunde 0,2 Kubikfuß Wasser aus dem Kessel verschwinden, wovon $1/5$ und mehr mechanisch fortgerissen wird. Bei anderen Geschwindigkeiten verhält sich der Verbrauch der Wassermenge wie die vierte Wurzel der Geschwindigkeiten.

439. Um den Effect einer Dampfmaschine zu berechnen, braucht man nur die Expansivkraft des Dampfes im Dampfcylinder und im Condensator und die demselben dargebotene Fläche des Kolbens zu kennen. Jene Expansivkräfte erkennt man aus der Temperatur des Wassers im Kessel und im Condensator, mittelst der S. 207 mitgetheilten Tabelle. Bei den gewöhnlichen Maschinen mit Condensatoren erleidet der Kolben durch den Dampf einen Druck, welcher dem Drucke einer Quecksilbersäule gleich kommt, deren Basis der gedrückten Kolbenfläche, deren Höhe dem Unterschied der Expansivkräfte des Dampfes im Kessel und im Condensator entspricht. Bei Dampfmaschinen ohne Condensator hat man statt des Gegendruckes des nicht verdichteten Dampfes den der Atmosphäre zu setzen. Jener Druck wird aber keineswegs ganz zur Erzeugung der nützlichen Wirkung der Maschine verwendet, sondern es muß davon der Theil abgezogen werden, welcher nöthig ist, um der Reibung des Kolbens das Gleichgewicht zu halten, die Hilfspumpen und die Steuerung zu bewegen; ein anderer Theil geht wegen der Abkühlung des Cylinders, wegen Beschleunigung des Dampfes, wegen unvollkommener Condensirung desselben 2c.

verloren. Der Rest dient dann eigentlich als nützliche bewegende Kraft, und von dieser hängt der Effect der Maschine ab. Diesen Effect schätzt man in der Regel durch das Gewicht reinen Wassers, welches die Maschine in einer Minute einen Fuß hoch hebt, oder nach der Anzahl der Pferde, deren Arbeit sie verrichtet. Man nimmt da an, daß ein Pferd in 1 Sec. 400 Pfund oder in 1 Minute 24000 Pfund 1 F. hoch heben kann. Man darf aber dabei nicht vergessen, daß es bei einer Maschine nicht allein auf den Effect, sondern auch auf die Consumtion des Brennmaterials ankommt, durch welche man ihn erzielt, und daß von zwei Maschinen offenbar jene vorzuziehen seyn werde, welche denselben Effect mit dem geringsten Bedarf an Brennmateriale leistet. Der Bedarf desselben steht nicht immer mit den Leistungen einer Maschine im geraden Verhältnisse. Eine Maschine mit der Kraft von hundert Pferden bedarf nicht zehnmal mehr Brennmaterial, als eine von zehn Pferdekräften, und Maschinen mit hohem Drucke bedürfen nicht in demselben Verhältnisse mehr Brennstoff als sie mehr leisten, sind aber einem großen Dampfverluste und mehr der Gefahr des Kesselzerspringens ausgesetzt. Indeß kennt man heut zu Tage ziemlich zuverläßige Mittel, solchen Unglücksfällen vorzubeugen, wie z. B. die Anwendung gut unterhaltener Sicherheitsventile, Vermeidung der Ueberlastung derselben, öfteres Befreien des Kessels vom Pfannensteine, den Gebrauch von Zapfen aus leicht flüssigem Metalle, Vermeidung gußeiserner Kessel, vorzüglich zweckmäßige Einrichtung und öftere Untersuchung der Wasser zuführenden Pumpen. (Zeitschr. 7. 477. Pogg. Ann. 25. 596.) Durch Vervollkommnung der einzelnen Theile der Dampfmaschinen hat man ungemeine Ersparungen an Brennmateriale ohne Beschränkung der Leistungen erzielt.

Im Jahre 1811 hob nach Berichten aus Amerika (Dupin, Mechanik B. 3. S. 344) eine Maschine der besten Art nach Watt's Construction mit einem Scheffel Kohlen in 1 Min. 15.760000 Pfd. Wasser; im J. 1815 hatte man sie schon so weit verbessert, daß diese Wirkung auf 20,766000 Pfd. stieg, ja mittelst einer nach Woolf's Princip construirten Hochdruckmaschine erlangte diese Wirkung die Größe von 46255250 Pfd. In England hebt die beste, nach alter Art construirte Maschine mit 1 Bushel (1,7 Metzen) Kohlen 40 Millionen Pfd. Wasser 1 Fuß hoch. Eine neuere Maschine hebt aber mit demselben Kohlenbedarfe 61,774166. Bei einer von Grose in Cornwallis erbauten Dampfmaschine, die ihrer Güte wegen berühmt ist, kommt diese Wirkung auf 92,327000 Pfd. und bei einer Maschine, die in der Grube Fowey Consols in Cornwallis arbeitet, gar auf 93,168124 Pfd. (*Phil. mag.* 2. 309. 7. 425. *Mech. Mag. N.* 643.) Mit den i. J. 1823 in England gangbaren Dampfmaschinen würde man die 186 Mill. Zentner wiegende ägyptische Pyramide, deren Bau 100,000 Menschen durch zwanzig Jahre beschäftigte, mit 36,000 Menschen in achtzehn Stunden aufbauen können. Die 64 Dampfmaschinen, welche man in Cornwallis allein zur Trockenlegung der Bergwerke anwendet, leisten so viel, wie 448000 Pferde. England hatte im Jahre 1833 für 2,321560 Pferdekräfte Dampfmaschinen, Frankreich für 1,785500, Preußen für 914985, mithin wurden in England 12½ Millionen, in Frankreich 8 Millionen, in Preußen 4½ Millionen arbeitende Menschen durch Dampfkraft ersetzt. (Pogg. 50. 60.

Bernoulli, Anfangsgründe der Dampfmaschinenlehre. Basel, 1834. Prechtl's Encyklopädie. Art. Dampf. Baumgartner's Mechanik, Wien, 1834. S. 305. Dessen Heizung der Dampfkessel &c. Wien 1841.)

Fünftes Kapitel.

Quellen der Wärme.

440. Die Wärme wird uns theils von außen und zwar von der Sonne, zum Theil auch von den Sternen zugeführt, oder sie wird durch besondere Vorgänge erzeugt, nämlich durch Stoß und Reibung, Elektricität, chemische Wirkung, und durch den Lebensproceß. Jede dieser Wärmequellen wirkt auf eigenthümliche Weise, mit deren Darstellung wir uns hier beschäftigen wollen.

441. Die Hauptquelle der Wärme auf der Erde ist die Sonne. Ein ihren Strahlen ausgesetzter Körper wird erwärmt, und zwar unter übrigens gleichen Umständen desto mehr, desto dichter das darauf fallende Licht ist und je weniger schief ihn die Strahlen treffen. Doch hängt diese Erwärmung auch von dem ihr unterworfenen Körper ab. Läßt man zwei sonst übereinstimmende Thermometer, deren eines eine mit Kienruß geschwärzte Kugel hat, von der Sonne bescheinen, so steigt das mit der schwarzen Kugel viel höher als das andere; legt man verschiedenfarbige Tuchlappen auf Schnee, so schmilzt dieser, wenn die Sonne darauf scheint, zuerst unter den dunkleren Lappen. Jedermann weiß, daß schwarze Kleider im Sommer wärmer sind als lichte, und daß sich schwarzer Ackerboden, schwarz angestrichene Wände unter dem directen Einfluß der Sonne viel mehr erwärmen, als wenn diese Körper eine lichte Farbe haben.

Dieses Verhalten schwarzer Körper im Sonnenlichte hat schon Pictet, später Leslie zur Bestimmung der Intensität des Sonnenlichtes angewendet, in der Voraussetzung, daß die Größe der Erwärmung eines Körpers im Sonnenlichte der Intensität des letzteren proportional sey. Leslie hat eine Kugel seines Differenzialthermometers geschwärzt, und es in diesem Zustande als Photometer gebraucht. Es ist klar, daß sich die Luft in der geschwärzten Kugel mehr erwärmen muß als in der durchsichtigen, und daß die Anzeige dieses Instrumentes mit der Stärke des einfallenden Lichtes in Relation stehe. Man hat aber gegen die Richtigkeit dieses Instrumentes wohl begründete Bedenken erhoben. (Kurzer Bericht von Versuchen und Instrumenten, die sich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen, von J. Leslie. Leipzig 1823.)

442. Die oben erwähnten Erfahrungen, nach welchen es den Anschein hat, als wirke das Sonnenlicht nur in dem Maße erwärmend, als es von Körpern absorbirt wird, haben die Hypothese erzeugt, die Wärme sey in den Lichtstrahlen gleichsam gebunden und werde erst durch Absorption der ersteren frei. Heut zu Tage unterliegt es aber keinem Zweifel mehr, daß Lichtstrahlen als solche gar nicht wärmen, und daß die erwärmende Kraft der Sonne von eigenen, die Lichtstrahlen

begleitenden, aber von denselben ganz unabhängigen Wärmestrahlen herrühre, die übrigens denselben Gesetzen unterliegen, welche für strahlende Wärme überhaupt nachgewiesen worden sind, mithin auch nur in so fern eine Temperaturerhöhung bewirken, als sie von Körpern absorbirt werden. Daraus folgt nun, daß die Wärmestrahlen der Sonne schon beim Eintritt in unsere Atmosphäre durch Reflexion eine Schwächung erleiden, auf ihrem Wege durch die Atmosphäre fortwährend wegen der unvollkommenen Diathermanität der Luft Abbruch erfahren, und daß daher desto wenigere die Erdoberfläche erreichen, je größer ihr Weg durch die Atmosphäre, je dichter und je trüber diese ist. Man nimmt an, die Luft sey für alle Arten der Wärmestrahlen gleich diatherman, wornach in den die Erde erreichenden Wärmestrahlen dasselbe Verhältniß der verschiedenen Strahlenarten herrschen muß, wie bei ihrem Eintritte in die Atmosphäre. Mittel, welche das Licht concentriren, wie z. B. Hohlspiegel und Sammellinsen, bewirken auch eine Verdichtung der Wärmestrahlen, doch kann eine Linse den Lichtstrahlen den Durchgang reichlich gestatten, die Wärmestrahlen aber stark absorbiren, und darum steht die Concentration der Wärme nicht immer mit jener des Lichtes in gleichem Verhältnisse, ja es ist eine Sammellinse möglich, in deren Focus das Licht sehr stark concentrirt ist, ohne die mindeste Erwärmung zu erregen.

443. Man hat in der neueren Zeit mehrere Mittel angegeben, um zu finden, wie viel Wärme die Sonne einer senkrecht beschienenen Fläche von bestimmter Größe in einer gewissen Zeit mittheile. Unter diesen scheint das von Pouillet angewendete den Vorzug zu verdienen. Dieser Gelehrte bedient sich zu diesem Ende eines eigenen Instrumentes, Pyrheliometer genannt. Dieses besteht aus einem 1 Decimeter weiten, 14—15 Millimeter hohen Cylinder von dünnem Silberblech, dessen Basis sorgfältig mit Kienruß geschwärzt ist, und der etwa 100 Gramm Wasser enthält. Ein im Wasser befindliches Thermometer gibt dessen Temperatur an, und eine besondere, leicht denkbare Einrichtung bei der Aufstellung desselben macht es möglich, den Cylinder langsam um seine Axe zu drehen, und so die Temperatur des Wassers allenthalben gleich zu erhalten. Wenn dieses Instrument nicht von der Umgebung Wärme bekäme oder an dieselbe abgäbe, während es von directen Sonnenstrahlen erwärmt wird; so dürfte man es nur mit der beschwärzten Basis senkrecht gegen die Sonnenstrahlen aufstellen, und die in einer bestimmten Zeit bewirkte Temperaturerhöhung beobachten, um die dem Wasser ertheilte, der Einwirkung der Sonne entsprechende Erwärmung zu erfahren. Allein während der Einwirkung der Sonne wird auch Wärme von der Umgebung aufgenommen oder an sie abgegeben, und das durch die vorige Weise erhaltene Resultat ist die Differenz oder Summe zwischen der Wirkung der Sonne und jener der Umgebung. Um auch letztere zu erfahren, macht man erst, wenn das Wasser im Cylinder ungefähr die Temperatur der Umgebung besitzt, einen Versuch im Schatten, und findet so die dem Wasser dabei zu Theil gewordene Erwärmung und Erkältung, läßt dann

den Versuch im directen Lichte folgen, und fügt einen dritten wieder im Schatten hinzu. Pouillet läßt den ersten und letzten Versuch 4 Minuten, den mittleren im directen Lichte gemachten 5 Minuten dauern. Ist T der beobachtete Temperaturzuwachs des Wassers durch Einwirkung der Sonne, t und t' die Erwärmung oder Erkältung bei dem ersten und letzten Versuch; so ist die von der Sonnenwärme dem Wasser zugeführte Temperaturerhöhung $\delta = T + \frac{t + t'}{2}$, wobei t und t' mit ihren Zeichen zu nehmen sind. Ist d der Durchmesser des Cylinders, so hält die den Sonnenstrahlen ausgesetzte Fläche $\frac{1}{4} d^2 \pi$ Einheiten. Bezeichnet p die Wassermenge im Gefäße, p' eine mit dem Gefäße und dem darin befindlichen Theile des Thermometers gleich viel Wärme enthaltende Wassermasse; so empfängt jede Flächeneinheit in 5 Minuten die Wärmemenge $\frac{4(p + p')\delta}{\pi d^2}$ und in einer Minute die Wärmemenge $\frac{4(p + p')\delta}{5\pi d^2}$. Pouillet fand für sein Instrument diesen Ausdruck $= 0{,}2624\ \delta$. Dieser Gelehrte berechnete für verschiedene Sonnenstände die Dicke der von den Sonnenstrahlen durchfahrenen Luftschichte und suchte dafür die entsprechenden Werthe von δ. Dabei fand er, daß sich die erhaltenen Resultate sehr gut durch die Formel $\delta = A p^{\varepsilon}$ darstellen lassen, in welcher A eine vom Zustande der Atmosphäre unabhängige constante Größe $= 6^\circ{,}72$, hingegen p eine mit diesem Zustande wechselnde Größe ist, die an heiteren Tagen innerhalb der Grenzen 0,72 und 0,79 wechselt; ε ist die Dicke der durchfahrenen Luftschichte, die Höhe der Atmosphäre im Zenith = 1 gesetzt. Da für $\varepsilon = 0$, $\delta = A = 6^\circ{,}72$ ist, so sieht man, daß die an der äußersten Grenze der Atmosphäre in sie eindringenden Sonnenstrahlen einer senkrecht beschienenen Fläche von 1 Q. Centimeter in 1 Min. eine Erwärmung mittheilen, durch welche 1 K. Centimeter Wasser um $6^\circ{,}72$ erwärmt wird. Die Größe $6{,}72 \times 0{,}2624 = 1{,}7633$ bezeichnet demnach die jener Flächeneinheit in 1 Min. mitgetheilte Wärmemenge. Für $\varepsilon = 1$ wechselt δ bei heiterem Himmel von 0,72 R. bis 0,79 R., die durch Absorption der Luft verminderte Erwärmung von 0,28 — 0,21, d. h. selbst bei heiterem Himmel werden durch die Luft 21—28 p. C. Wärmestrahlen absorbirt. (Pouillet in Pogg. Ann. 45. 25.)

444. Leitet man Sonnenlicht durch ein dreiseitiges Prisma von Steinsalz, so erhält man zugleich ein Licht- und Wärmespectrum, und in letzterem ist wegen der vollkommenen Diathermansie des Steinsalzes die Wärme so vertheilt, wie es ihr Verhältniß im Sonnenlicht mit sich bringt. Man findet da, daß die Wärme von dem violetten Theile zum rothen hin zunimmt, daß aber das Wärmespectrum um $\frac{1}{3}$tel des Lichtspectrums über den rothen Theil hinausreicht. Das Maximum der Wärme herrscht außerhalb des Roth in einer beträchtlichen Entfernung von der äußersten Grenze desselben. Prismen aus minder vollkommen diathermanen Stoffen geben nur, wenn sie die Strahlen nahe an der Kante des brechenden Winkels auffangen, mithin dort, wo

die Dicke des Prisma's sehr gering ist, dieselbe Wärmevertheilung wie ein Steinsalzprisma; in einer größeren Entfernung von dieser Kante hat der Grad der Diathermansie Einfluß auf diese Vertheilung, und sie ist verschieden nach Maßgabe der Natur des Prisma, seiner Dicke und seines brechenden Winkels. Da die brechbaren Wärmestrahlen zugleich die leichter absorbirbaren sind, so führen nicht vollkommen diathermane Prismen die wärmste Stelle näher ans Violett.

Ein Prisma von blauem Kobaltglas, welches das Lichtspectrum sehr stark ändert, und abwechselnd lichte und dunkle Zonen in demselben erzeugt, liefert aber ein Wärmespectrum mit regelmäßig und stetig abnehmender Wärme zu beiden Seiten des Wärmemaximums. Ein aus Wasser und einem mit Kupferoxyd gefärbten Glase gebildetes Prisma liefert ein Lichtspectrum ohne Wärme, und eines aus schwarzem Glase ein Wärmespectrum ohne Licht. Nach Seebeck fällt die wärmste Stelle des Spectrums außerhalb des Roth, wenn das Prisma aus Flintglas besteht, hingegen in das Roth selbst, wenn das Prisma aus Crownglas oder aus gewöhnlichem weißen Glase gemacht ist, oder gar in Gelb bei einem durch Glasscheiben gebildeten, mit Wasser, Alkohol oder Terpentinöhl gefüllten Gefäße, endlich zwischen Roth und Gelb, wenn dieses hohle Prisma mit starker farbloser Schwefelsäure oder mit einer klaren Lösung von Quecksilbersublimat gefüllt ist. Man kann die Vertheilung der Wärme im Spectrum nach Herschel leicht sichtbar machen, wenn man ein Blatt dünnes Papier durch eine rußende Flamme schwärzt, es dann auf ein Bret aufzieht, die weiße Seite mit Alkohol benetzt und das Spectrum darauf fallen läßt. Da die stärker erwärmten Stellen eher trocknen als die anderen; so erkennt man aus dem Auftreten mehr oder minder heller Flecken am Papier leicht die Stellen, wo Wärmestrahlen am stärksten wirken. Herschel bemerkte, als er sich eines Flintglasprisma's bediente, in dem minder gebrochenen Theile des Sonnenwärmespectrums mehrere Unterbrechungen, ähnlich den Fraunhofer'schen Linien im Lichtspectrum, aber gewiß von einer gleichen Ursache herrührend. (Herschel's Untersuchungen über die Natur der Sonnenstrahlen. Celle 1801. Seebeck über die Wärme im prismatischen Sonnenbilde. In den Abhandlungen der Berliner Akademie. Berlin 1820. S. 393 u. s. w. Melloni in Pogg. Ann. 39. 558.) — Wie aus den im eilften Kapitel angeführten Erscheinungen erhellet, gibt es außer der erwärmenden Wirkung der Sonnenstrahlen noch eine andere, welche in der Hervorrufung chemischer Processe besteht. Man schreibt letztere Wirkung die sich nicht auf das Sonnenlicht beschränkt, sondern auch dem Lichte anderer Quellen eigen ist, dem Lichte als solchen zu, weil sie da fehlt, wo der optische Effect durch Interferenz aufgehoben wird. Jedoch ist dieses nicht so zu verstehen, daß die Strahlen, welche chemische Effecte hervorzubringen vermögen, nothwendig die Netzhaut unseres Auges afficiren müssen, wenn gleich Herschel d. j. auch über das violette Ende des Sonnenspectrums hinaus, wo sich kräftige chemische Strahlen vorfinden, Spuren von optischer Action wahrgenommen hat. Der Ausspruch der Identität der optischen und chemischen Wirksamkeit des Lichtes bezieht sich nur auf die gemeinschaftliche Qualität der Ursachen beider Effecte, wobei die Grenzen, innerhalb welcher die quantitativen Bestimmungen dieser Ursachen liegen, immerhin verschieden seyn können. Zur selbstständigen chemischen Action der Lichtstrahlen wird eine größere Rapidität der Aetherschwingungen erfordert, als sie dem rothen oder gelben Lichte eigen ist; die so eben genannten Lichtsorten können höchstens bereits begonnene chemische

Wirkungen fortsetzen, während Aetherschwingungen die rascher vor sich gehen, ja selbst rascher als die des violetten Lichtes, die Affinität der Stoffe selbstständig zu modificiren vermögen. Sonach verhalten sich die chemischen Strahlen zu den optischen, wie Strahlen von einer Farbe zu denen welchen der Eindruck einer anderen Farbe entspricht. Von den wärmeerzeugenden Strahlen, welche die Lichtstrahlen begleiten, kann man, wenigstens dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft gemäß, nicht dasselbe sagen. Melloni unterscheidet dreierlei Sonnenstrahlen, nämlich nicht bloß leuchtende und erwärmende, sondern auch chemisch wirkende als Strahlen eigener Art, und schreibt letzteren wie ersteren eigene Gesetze der Transmission zu.

445. Eine sehr reichhaltige, aber bei weitem noch nicht hinreichend erforschte Quelle der Wärme ist die Reibung. Es ist bekannt, daß sich eiserne Werkzeuge, wie Bohrer, Sägen, Radschuhe rc. beim Gebrauche stark erhitzen, daß ungeschmierte Wagenaxen und die Zapfen schnell bewegter Maschinen sich eben so verhalten, daß zwei stark zusammengedrückte und schnell über einander bewegte Stücke Holz sich entzünden können. Die unter denselben Umständen beim Reiben erzeugte Wärmemenge ist nach Becquerel von der Wärmeleitung und Capacität der sich reibenden Körper ganz unabhängig, nur wächst sie mit der Kraft, wodurch die Körper an einander gedrückt werden. Auch die Beschaffenheit ihrer Oberfläche scheint im Allgemeinen ohne Einfluß auf das hier in Rede stehende Phänomen zu seyn, nur beim Reiben zweier Körper von gleicher Natur, deren einer glatt, der andere geritzt ist, erhitzt sich letzterer mehr als ersterer. Die Wärmeentwicklung dauert fort, so lange das Reiben währt, steht jedoch mit der Dauer der Bewegung nicht im nämlichen Verhältnisse, und es hat den Anschein, als wäre hierin gar keine Erschöpfung der Körper möglich. Sie geht im leeren Raume vor sich wie in der Luft. Man war bis jetzt noch nicht im Stande, den inneren Grund der Wärmeentwicklung beim Reiben anzugeben, ja es scheint als wenn hiedurch die Wärme nicht bloß frei gemacht, sondern wirklich erzeugt würde.

446. Stoß und Druck sind eine andere nicht unausgiebige Quelle von Wärme. Percussionspulver braucht zur Entzündung nur einen kräftigen Schlag, Knallsalze entzünden sich beim geringsten Stoße, eine Eisenstange kann durch Hämmern auf einem Ambos bis zum Glühen erhitzt werden. Beim gewöhnlichen Feuerschlagen mittelst Stein und Stahl werden durch einen raschen Stoß Stahlstücke losgeschlagen und zugleich bis zum Schmelzen glühend gemacht, wie man sich überzeugen kann, indem man die glühenden, als Funken erscheinenden Stückchen mit einem Mikroskope ansieht, wo sie als verbrannte Kugeln erscheinen. Wird ein Gas bis etwa $^1/_5$ seines Volums rasch zusammengedrückt, so erhitzt es sich bis zum Glühendwerden und kann dann selbst einen Schwamm anzünden. Darauf beruht der Gebrauch des Luftfeuerzeuges, eines mit einem luftdicht schließenden Kolben versehenen, einerseits geschlossenen Cylinders. Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Erwärmung durch Stoß und Druck eine Folge der hiedurch bewirkten Capacitätsverminderung sey. Da nämlich jeder

Körper eine eigene Ausdehnungswärme hat (385), so muß er einen Theil derselben fahren lassen, sobald sein Volum durch einen äußeren Druck vermindert wird. In der That bemerkt man auch in Fällen, wo Stoß oder Druck Wärme erregt haben, daß der betreffende Körper dichter geworden sey, namentlich ist dieses bei den Metallen nach dem Hämmern der Fall. Die ersten Stöße oder Schläge haben die größte Verdichtung und auch die reichlichste Wärmeentwicklung zur Folge, und solche Körper, welche auf diesem Wege keine oder eine nur unmerkliche Verdichtung erfahren, wie z. B. tropfbare Flüssigkeiten, erleiden auch durch Stoßen und Drücken keine Erwärmung. Ein Stoß erscheint in der hier besprochenen Beziehung darum so ausgiebig, weil er nur die zunächst getroffenen Massentheile afficirt und diese darum auch stark verdichtet. Für Körper, deren Ausdehnungswärme bekannt ist, könnte man auch die durch einen bestimmten Druck erzeugte Erwärmung berechnen. Gegenwärtig ist dieses nur bei Gasen der Fall.

Berthollet fand, daß sich eine Kupferplatte auf einem Münzprägestock durch den ersten Stoß des Stempels um 9°,69, durch den zweiten um 4°,06, durch den dritten um 1°,06, im Ganzen also um 14°,81 erwärmte, ihr spec. Gewicht aber von 8,8599 auf 8,9081 stieg. Eine Silberplatte erfuhr durch dieselbe Behandlung eine Erwärmung von 8°,19, und eine Verdichtung von 10,4667 auf 10,4838. Gold erhitzte sich noch weniger und erfuhr eine noch geringere Verdichtung. Für chemisch einfache Gase ist die Ausdehnungswärme bei einer Volumenvergrößerung von $^1/_{274}$tel des anfänglichen Rauminhaltes = 0,421, für zusammengesetzte Gase = 0,337, für jede andere Compression ist sie dieser proportionirt. Die dieser Wärmeentwicklung entsprechende Temperaturerhöhung steht im verkehrten Verhältnisse zur Capacität.

447. Es ist leicht einzusehen, daß Verdünnung eines Körpers eben so Quelle von Kälte, d. h. von Wärmeabsorption seyn müsse, als Verdichtung Wärmeentwicklung, d. h. Erwärmung zur Folge hat. Legt man ein dünnes Streifchen Kautschuk auf die Lippen, und vermindert durch einen schnellen Zug dessen Dichte, so empfindet man die dabei Statt habende Erkältung. Wird in einem Gefäße die Luft stark verdichtet und hierauf abgewartet, bis sie die Temperatur der Umgebung angenommen hat, dann aber ihr gestattet, durch eine kleine Oeffnung auszuströmen; so erkaltet sie sich dabei so sehr, daß sie selbst im Sommer eine kleine Portion Wasser zum Gefrieren bringen kann. Auch die aus dem Sicherheitsventile eines Dampfkessels ausströmenden, stark gespannten Wasserdämpfe fühlen sich kalt an.

448. Es ist bereits im zweiten Abschnitte angeführt worden, daß ein elektrischer Strom Körper, durch welche er geht, erwärmen kann, er mag nun kurz dauern, wie der einer Leidnerflasche oder einer Batterie, oder anhaltend seyn, wie der Strom einer Volta'schen Säule. Schon der vom Conductor einer Elektrisirmaschine oder von einem Elektrophor kommende Funke entzündet Knallluft (elektrische Pistole, Zündmaschine), Schwefeläther, Colophoniumstaub, Phosphor; um so leichter bewirkt dieses der verstärkte Funke einer Leidnerflasche. In allen diesen Fällen ist der entzündete oder erhitzte Körper nur ein Theil

des Schließungsbogens, und der Funke der in der Luft sichtbar gewordene elektrische Strom. Die Erhitzung tritt aber auch ein, wenn der Strom nicht erst einen schlechten Leiter durchbrechen muß, und daher kein Funke erscheint, sondern ganz im leitenden Schließungsbogen fortgeht. Leitet man den Schlag einer geladenen Leidnerflasche oder Batterie durch einen angemessenen Metalldraht, so kann dieser glühend werden oder gar schmelzen, ja sogar eine Verflüchtigung erleiden. Dasselbe erfolgt, wenn man die Pole einer Volta'schen Säule oder selbst eines Elementes durch einen angemessenen Draht verbindet. Natürlich reicht die durch einen elektrischen Strom erregte Wärmemenge nicht immer aus, um Glühhitze zu erzeugen, ja sie bewirkt oft eine so geringe Erwärmung, daß man sie nur wahrnehmen kann, wenn man den Strom durch einen durch die Kugel eines Luftthermometers geführten Draht oder durch eine dem Breguet'schen Thermometer ähnliche Spirale leitet. Diese Mittel dienen aber auch zugleich dazu, die Statt gefundene Temperaturerhöhung zu messen.

449. Eine gegebene Elektricitätsmenge von bestimmter Dichte, d. h. ein elektrischer Strom von gegebener Intensität, erregt in einem von ihr durchströmten Körper immer eine bestimmte Wärmemenge, die nur von der Beschaffenheit dieses Körpers abhängt. Bei gleich langen Schließungsbögen derselben Natur, z. B. bei Drähten aus demselben Metall, ist die erregte Wärmemenge dem Querschnitte des Drahtes verkehrt proportionirt; verlängert man den Draht, so vermindert sich die erregte Wärme im Verhältniß zur Drahtlänge. Durch geringere Leitungsfähigkeit wird der Strom verzögert, und die Wärmemenge gesteigert. Die Temperaturerhöhung, welche ein solcher Draht erleidet, hängt natürlich außer der erzeugten Wärmemenge auch noch von seiner Dichte und Wärmecapacität und von der ableitenden Kraft des Mittels ab, worin er sich befindet. Ein Draht, der als Polardraht einer Volta'schen Säule in der Luft glühend wird, erfährt im Schwefeläther eine kaum merkliche Temperaturerhöhung, kann aber im leeren Raume gar dadurch zum Schmelzen gebracht werden. (Rieß in Pogg. Ann. 40. 321; 43. 47; 45. 1. Vorsselman ebendas. 46. 519; 48. 292.)

450. Wenn ein Schließungsdraht aus Stücken mehrerer Metalle besteht, so erfährt jedes Stück die seiner Natur angemessene Erwärmung; nur in den Verbindungsstellen zweier Metalle wird durch schwache Ströme mehr Wärme hervorgerufen als an anderen; ja es ist in dieser Beziehung nicht einmal gleichgültig, in welcher Richtung die Elektricität diese Leiter durchströmt, besonders gilt dieses von Strömen, welche durch zusammengefügte krystallisirte Metalle gehen (S. 488).

451. Zu den Mitteln, Wärme zu erzeugen, gehören auch die chemischen Verbindungen. Dieses beweisen unzählige Erscheinungen: Lebendiger Kalk erhitzt sich mit Wasser, eben so Schwefelsäure; Kalk, Baryt, Strontian können in Berührung mit Schwefelsäure sogar glühend werden; Terpentinöhl wird durch starke Salpetersäure bis

zur Entzündung erhitzt, chlorsaures Kali erzeugt mit Schwefelsäure so viel Wärme, daß man damit Schwefel anzünden kann (chemisches Feuerzeug) ꝛc. Es gibt auch chemische Actionen, bei denen Wärme verschluckt wird, also Erkältung eintritt, namentlich muß dieses bei Zerlegung solcher Verbindungen der Fall seyn, welche bei ihrer Bildung Wärme entwickelten. Bei zusammengesetzten chemischen Processen bestimmt das Uebergewicht des einen oder anderen Partialprocesses, ob das Gesammtresultat in Erwärmung oder Erkältung bestehe. Gewiß ist, daß wenn man die bei den verschiedenen einfachen chemischen Verbindungen entwickelte Wärme ausgemittelt hätte, man die bei zusammengesetzten Processen, wo Verbindungen und Zerlegungen zugleich vorkommen, entwickelte oder verschluckte Wärmemenge voraus bestimmen könnte.

452. Chemische Verbindungen, bei denen nicht gleichzeitig Zersetzungen Statt finden, scheinen immer mit Wärmeentwicklung verbunden zu seyn; gewiß ist es, daß dieses bei allen Sauerstoffverbindungen der Fall ist. Auch ist die entwickelte Wärmemenge bei übrigens gleichen Umständen desto größer, je inniger die sich bildende Verbindung ist, und kann sonach als Maßstab für die dabei herrschende Verwandtschaft angesehen werden. Da, wo sich zwei Stoffe in mehreren Verhältnissen verbinden, wirken bei der ersten Verbindung größere Verwandtschaftskräfte als bei der zweiten, bei dieser größere als bei der dritten, und auch die Menge der frei gewordenen Wärme befolgt dasselbe Gesetz. Ja noch mehr: Gleichwie die Quantitäten, in denen sich die Stoffe mit einander verbinden, constant sind, und da, wo es mehrere Verbindungen derselben gibt, auch die Gewichtsmengen des einen bei gleicher Quantität des anderen in sehr einfachen Verhältnissen zu einander stehen; eben so sind die Quantitäten der dabei frei werdenden Wärme constant, und stehen in bestimmten einfachen Verhältnissen zu einander. Dabei kommt es aber nicht darauf an, ob die Verbindung schnell oder langsam, mittelbar oder unmittelbar vor sich gehe, und ob sie auf einmal oder stufenweise erfolge. Die entwickelte Wärmemenge bleibt in allen diesen Fällen dieselbe.

Die Wärmemenge, welche sich entwickelt, wenn sich Sauerstoff mit Kohlenstoff zu Kohlensäuregas verbindet, ist doppelt so groß, als wenn der Sauerstoff durch Aufnahme einer größeren Menge Kohlenstoff Kohlenoxyd liefert. Wenn sich ein Aequivalent Schwefelsäure SO_3 mit einem Aequivalent Wasser H_2O verbindet, so wird eine größere Wärmemenge frei, als wenn das so gebildete Hydrat abermal 1, 2, 3 Aequivalente Wasser aufnimmt, und zwar erhält man nachfolgende Wärmemengen, jene als Einheit angenommen, durch welche eine Masseneinheit Wasser um 1° C. erwärmt wird.

SO_3 mit H_2O	gibt die Wärmemenge .	310,4
SO_3+H_2O mit H_2O	» » » » . .	77,86
SO_3+2H_2O mit H_2O	» » » » . .	38,9
SO_3+3H_2O mit $3H_2O$	» » » » . .	38,9
SO_3+6H_2O mit nH_2O	» » » » . .	38,9
in Summa	. . . .	504,96

Letztere Zahl gibt die Wärmemenge an, welche entwickelt wird, wenn man

Schwefelsäure mit Wasser übersättiget. Es ist aber $77,86 = 2 \times 38,9$; $310,4 = 8 \times 38,9$. Uebersättigt man auf einmal Schwefelsäure mit Wasser, so beträgt die entwickelte Wärmemenge 504,96; gibt man aber zur wasserfreien Säure zuerst ein Aequivalent Wasser, und dann erst das zur Uebersättigung nöthige Wasserquantum, so wird im ersten Falle die Wärmemenge 310,4, im letzteren die Wärmemenge 194,56 frei; und man hat weder $310,4 + 194,56 = 504,96$.

453. Ungeachtet der hier besprochene Gegenstand erst seit kurzem die längst verdiente Aufmerksamkeit der Naturforscher auf sich gezogen hat, und von einer vollendeten Abgeschlossenheit desselben noch keine Rede seyn kann; so hat man doch schon manches recht interessante allgemeine Resultat gewonnen, deren die wichtigsten hier folgen: Basen entwickeln immer Wärme, wenn sie sich mit Wasser verbinden, und zwar, nach Maßgabe der obwaltenden Verwandtschaft, eine Base mehr als die andere. Verschiedene vollständig mit Wasser gesättigte Basen geben mit derselben Säure immer dieselbe Menge Wärme, für verschiedene Säuren aber eine verschiedene. Es ist aber die Wärme, welche eine Säure mit einer wasserhältigen Base entwickelt, eigentlich nur die Differenz zweier Wärmemengen, nämlich derjenigen, welche sich bei der Verbindung einer trockenen Base mit einer Säure, und dann jener, welche sich bei der Verbindung derselben Base mit Wasser entwickelt. Zwei sich gegenseitig zersetzende Neutralsalze entwickeln bei ihrer Vermischung keine Wärme, sobald jede der beiden Basen mit einer der beiden Säuren gleiche Wärmemengen entwickelt.

Folgende numerische Wärmeangaben können theils als Belege für die so eben genannten Naturgesetze, theils zum Behufe der Lösung verschiedener thermischen Aufgaben dienen. Schwefelsäurehydrat gibt mit Kali, Natrum, Ammoniak die Wärmemenge 602, Salpetersäurehydrat mit denselben Basen 409, Salzsäurehydrat 366. Bei der Verbindung der Schwefelsäure mit Kali zu schwefelsaurem Kali wird demnach die Wärmemenge 601, bei der Vereinigung der Salpetersäure mit Kalk die Wärmemenge 451, durch beide Processe hiemit das Wärmequantum 1052 frei. Eben so erhält man bei Vermischung der Salpetersäure mit Kali die Wärmemenge 409, und bei Verbindung der Schwefelsäure mit Kalkhydrat die Wärmemenge 642, also auch in Summa 1051; demnach kann bei der Zersetzung des schwefelsauren Kali durch salpetersauren Kalk und Bildung von salpetersaurem Kali und schwefelsaurem Kalkhydrat keine Wärmeänderung eintreten. Die den nachstehenden Stoffen beigesetzten Zahlen geben die Anzahl Wärmeeinheiten an, welche sich entwickeln, wenn sich die Stoffe mit Sauerstoff verbinden: 1 Liter Wasserstoff 3106; 1 Liter Kohlendampf 7858; Ein Gramm Schwefel 2601; Eisen auf 1 Liter damit verbundenen Sauerstoff 6216, Zinn 6509, Zink 7577, Kobalt 5721, Nickel 5333. (Heß in Pogg. Ann. 47. 210; 50. 385; 52. 97; 114, 118; 53. 499. 535; in Erdmann's Journ. 22. 185; Ebelmen ebend. 22. 192. Dulong in Pogg. Ann. 54. 461. Andrew's Arbeit, (Pogg. Ann. 54. 208) scheint noch einer weiteren Bestätigung zu bedürfen.)

454. Es ist schon vorher erwähnt worden, daß bei zusammengesetzten chemischen Processen nicht immer die Wärme erregenden Ursachen das Uebergewicht haben, sondern daß sich dieses manchmal auf Seite

der wärmeabsorbirenden befinde, und somit das Gesammtresultat in einer Erkaltung bestehen müsse. Es gibt solche Vorgänge, wobei die Menge der absorbirten Wärme sehr bedeutend ist; geht die Absorption überdieß auch noch schnell vor sich, so können dadurch sehr hohe Kältegrade erzeugt werden.

Hierauf beruhen auch die sogenannten kaltmachenden Mischungen. Bei

einer Mischung von			fällt die Temperatur			
3	Th.	Salmiak, 5 Salpeter, 16 Wasser	von	+ 10°	bis	— 10°R.
3	»	Glaubersalz, 2 Salpetersäure	»	10	»	— 12
8	»	» 5 Salzsäure	»	10	»	— 14
1	»	Schnee, 1 Kochsalz	»	0	»	— 14
3	»	salzsaurem Kalk, 2 Schnee	»	0	»	— 36
1	»	Schnee, 1 Schwefelsäure	»	— 5	»	— 41
1	»	» 1 Salpetersäure	»	— 14	»	— 35
2	»	salzsaurem Kalk, 1 Schnee	»	— 14	»	— 44.

455. Die Aenderungen der Temperatur bei chemischen Prozessen und bei der Aenderung des Aggregationszustandes eines Körpers sind gewöhnlich sehr bedeutend, und daher aus ihrer Wirkung leicht wahrzunehmen. Es gibt aber solche Aenderungen, die nur in einem sehr geringen Grade, und zwar dann Statt finden, wenn feste Körper von Flüssigkeiten benetzt, oder wenn flüssige Stoffe eingesogen werden, so daß man das Benetzen und Eingesogenwerden gleichsam als einen geringen Grad der Formänderung eines Körpers ansehen kann. Die ersten Erfahrungen im Reiche dieser Phänomene machte Pouillet mit Thermometern, wodurch eine Temperaturänderung von 0°,01 C. bemerkt werden konnte, und fand, daß bei dem Benetzen und Einsaugen immer Wärme frei werde. Ist die netzende Flüssigkeit Wasser, so ist für alle unorganische Stoffe die frei werdende Wärme innerhalb der Grenzen von $^1/_4$° bis $^1/_2$° enthalten, es finden aber fast dieselben Grenzen Statt, wenn man statt Wasser, Oehle, Alkohol, Essigäther nimmt. Bei der Absorption ist die Wärmeentwicklung größer als beim bloßen Benetzen, wie man es leicht voraussehen kann, wenn man bedenkt, daß Absorption eigentlich ein verstärktes Benetzen ist. (Schweigg. J. 36. 193.)

456. Eine höchst merkwürdige Wärmequelle ist der Lebensprozeß. Menschen und Thiere besitzen im normalen Zustande ihrer Lebensthätigkeit eine eigenthümliche, von der äußeren Umgebung unabhängige Temperatur. Da nun der thierische Körper, wie jeder andere, der wärmer ist als die Umgebung, Wärme an dieselbe abgeben muß, und zwar in derselben Zeit desto mehr, je größer die Differenz zwischen seiner Temperatur und jener der Umgebung ist; so muß auch, um eine constante Temperatur zu bewahren, die Erzeugung von Wärme mit der Abnahme der Temperatur der Umgebung wachsen. Diese Quelle der Wärme muß ferner in allen Theilen des thierischen Körpers wirksam seyn, wo Blut circulirt; denn alle diese Theile, aber auch nur diese, haben ihre eigene Temperatur. Dem inneren Grunde dieser Lebenswärme haben die Physiologen von jeher nachgeforscht und sich

davon die mannigfaltigsten, oft sehr unklare Vorstellungen gemacht. Erst in der neuesten Zeit hat der berühmte deutsche Chemiker Liebig diesen wichtigen Gegenstand ins gehörige Licht gesetzt. Nach ihm ist die Entwicklung der thierischen Wärme die Folge der Verbindung des Kohlenstoffes und Wasserstoffes mit dem Sauerstoffe zu Kohlensäure und Wasser. Es wird nämlich fortwährend atmosphärische Luft eingeathmet, der darin enthaltene Stickstoff aber sammt Kohlensäuregas und Wasserdampf ausgeathmet; letztere Stoffe werden überdieß noch durch die Hautausdünstung abgesondert. Den Kohlenstoff und Wasserstoff zu diesen Producten liefert der thierische Körper selbst, den Sauerstoff die eingeathmete Luft. Die Verbindung des Sauerstoffes mit brennbaren Stoffen kann aber durchaus nicht ohne Wärmeentwicklung vor sich gehen, ja es ist die dadurch entwickelte Wärmemenge dieselbe, als wenn solche Stoffe in freier Luft und in Sauerstoffgas verbrannt würden. Der auf solche Weise fortwährend abgeschiedene Kohlenstoff und Wasserstoff wird dem Körper durch jene Nahrungsmittel wieder ersetzt, die wegen Mangel an Stickstoffgehalt nicht geeignet sind, Blut zu bilden, wie Zucker, Gummi, Stärke, Weingeist, Fett. Aus dieser Ansicht erklären sich alle in Bezug auf thierische Wärme Statt findenden besonderen Erscheinungen. Man begreift daraus, warum nur jene Körpertheile, welche mit arteriellem Blute und dadurch mit Sauerstoff in Berührung kommen, eine eigene Wärme haben; warum mit Verminderung der Lufttemperatur und der dadurch vermehrten Quantität des eingeathmeten Sauerstoffes die Wärmeerzeugung zunimmt, und zwar gerade in dem Maße, als der Wärmeabfluß an die Umgebung größer wird; warum Thiere, welche schnell athmen, eine höhere Temperatur besitzen als andere, die langsam Athem holen; warum der Aufenthalt im Freien, wo ein größerer Wärmeverlust durch Ausstrahlen und Mittheilung Statt findet, auch zugleich die Eßlust erhöht; warum in dem Maße, als mehr Sauerstoff eingeathmet wird, auch mehr Nahrung aufgenommen werden müsse; warum Bewegung und körperliche Anstrengung eine erhöhte Wärmeentwicklung und das größere Verlangen nach Speise zur Folge hat; warum bei Mangel an Nahrung zuerst das Fett, welches bloß Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff enthält, vermindert wird rc. (Liebig in den Annalen der Chemie und Pharmacie. 41. 189. Vergleiche Tiedemann's Physiologie des Menschen. Darmstadt, 1830. 1. 447.)

Nach Lavoisier nimmt ein erwachsener Mensch täglich 46037 Kub. Zoll Sauerstoff im Gewichte von 65 Loth auf; ferner verzehrt ein solcher im Zustande mäßiger Bewegung täglich 27,8 Loth Kohlenstoff. Letzterer fordert, um in Kohlensäure verwandelt zu werden, 74 Loth Sauerstoff und den größten Theil davon liefert demnach die Atmosphäre, den kleineren die aufgenommenen stickstofffreien Nahrungsmittel. 1 Loth Kohlenstoff entwickelt beim Verbrennen so viel Wärme, daß man damit 78 Loth Wasser von 0° — 100° erwärmen kann, demnach jene 27,8 Loth Kohlenstoff so viel, daß man damit $27{,}8 \times 78 = 2168{,}4$ Loth = nahe 67,8 Pfd. eiskaltes Wasser siedend heiß, oder nahe 11,3 Pfd. Wasser in Dunst verwandeln kann. Die Ausdünstung durch Haut und Lunge beträgt beim Menschen in 24 Stunden nahe 3 Pfd., so daß noch die

zum Verdünsten von 8,3 Pfd. Wasser oder zum Erhitzen von 49,8 Pfd. von 0—100° nöthige Wärme übrig bleibt, um die ausgeathmete Luft, die flüssigen und festen Excremente zu erwärmen und den Wärmeverlust an die Umgebung zu ersetzen.

Sechstes Kapitel.

Ueber Verbrennen.

457. Es gibt chemische Verbindungen, bei denen die entwickelte Wärme bis zur Glühhitze steigt, und demnach Wärme und Licht zugleich auftreten. Man nennt diesen Prozeß Verbrennen, ohne auf die Natur der Körper Rücksicht zu nehmen, welche sich mit einander verbinden und den Prozeß unterhalten. Neuestens hat man den Begriff des Verbrennens auf Verbindungen des Sauerstoffes mit ihm verwandten Körpern beschränkt, und sieht nicht einmal Licht- und Wärmephänomene als wesentliche Charaktere dieses Herganges an, indem man von einem raschen, mit Wärme und Licht verbundenen Verbrennen und von einem langsamen, oft ohne merkliche Lichterscheinung vor sich gehenden spricht. Wir wollen hier vorzüglich den mit Wärme- und Lichtentwicklung vor sich gehenden Oxydationsprozeß mit dem Worte Verbrennen bezeichnen und dessen Gesetze erörtern, und können dieses mit so mehr Beruhigung thun, als die physikalischen Gesetze dieses Processes auf jedes im weiteren Sinne gemeinte Verbrennen passen.

458. Zum Verbrennen gehören nothwendig zwei Stoffe, wovon einer nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche das Verbrennen erleidet, der andere aber es unterhält. Ersterer heißt Brennstoff, letzterer Zündstoff. Beim Verbrennen im hier gemeinten Sinne des Wortes ist immer der Sauerstoff der Zündkörper, und was sich mit demselben verbindet der Brennstoff; im weiteren Sinne genommen kann aber derselbe Körper bald Brennstoff, bald Zündstoff seyn, wie dieses z. B. beim Schwefel der Fall ist, der in einer Sauerstoffatmosphäre den Brennstoff abgibt, während er, wenn man z. B. in einer Schwefeldunstatmosphäre Kupfer verbrennt, als Zündstoff wirkt.

459. Das Verbrennen findet, wie jede chemische Verbindung, nur bei einer bestimmten Temperatur Statt. Bei vielen Körpern reicht dazu schon die gewöhnliche Lufttemperatur hin, und diese entzünden sich demnach schon von selbst, sobald sie in die Luft oder in Sauerstoffgas kommen. Man nennt sie Pyrophore, Selbstzünder (wie z. B. Kalialaun mit Kohlenpulver geglüht, 2½ Gewichtstheile reine, des Krystallisationswassers beraubte Weinsteinsäure mit 8 Theilen Bleisuperoxyd gerieben). Die meisten Körper brauchen aber eine Temperaturerhöhung, um zu verbrennen. Diese hängt von der Natur des Brennstoffes, seinem Vertheilungszustande und davon ab, ob das Verbrennen rasch oder langsam vor sich gehen soll. Zum langsamen Verbrennen braucht man nur Rothglühhitze, zum raschen Verbrennen ist aber Weißglühhitze nöthig. Ausdehnsame Körper brauchen in der Regel eine höhere Temperatur, als tropfbare oder feste; fein zertheilte

Stoffe erhalten leichter die zum raschen Verbrennen nöthige Temperaturerhöhung, weil die Isolirung der einzelnen Theile dem Abfließen der Wärme entgegen steht, und daher die Wärme mehr zusammengehalten wird.

Phosphor brennt schon bei 60°, Schwefel bei 294°, Wasserstoffgas bei 300° C., öhlbildendes Gas bei einer noch höheren Temperatur. Die poröse Kohle, wie sie beim unterdrückten Verbrennen von Linnen entsteht, entzündet sich schon durch einen Funken, während compacte Holzkohlen und Coaks dazu viel kräftigere Mittel brauchen; auch Kiesel brennt vor dem Erhitzen in der Luft leicht, während es nach dem Erhitzen in atmosphärischer Luft, ja selbst im Sauerstoffgase unentzündlich ist. Die Temperaturerhöhung, welche manchen Körper in der atmosphärischen Luft entzündet, vermag dieses nicht mehr, wenn die Luft bis auf einen gewissen Grad verdünnt ist, weil es da an der hinreichenden Anzahl Berührungspuncte zwischen dem Brennstoffe und dem Sauerstoffe fehlt. Nach Davy läßt sich ein Gemenge aus 2 Rthlen Wasserstoffgas und 1 Rthl. Sauerstoffgas bei achtzehnfacher Verdünnung, ein aus zwei Rthl. Hydrogengas und 5 Rthl. atmosphärischer Luft bestehendes bei einer sechsfachen Verdünnung nicht mehr durch den elektrischen Funken anzünden. In der atmosphärischen Luft läßt sich eine Stahlfeder durch einen glühenden Schwamm nicht zum Verbrennen bringen, wohl aber im Sauerstoffgase (Davy in Gilb. Ann. 56. 150); Phosphor in Baumwolle gewickelt oder mit einem gepulverten Körper, z. B. Schwefel, Holzkohle, Platinschwamm, Antimon, Arsenik, Zinnober, Kalk, Salpeter, Flußspath, Borsäure rc. bestreut, entzündet sich hingegen leichter in verdünnter Luft, als in der von natürlicher Dichte. Lampenschwarz erzeugt die Entzündung des Phosphors schon in freier Luft (Blache in Pogg. Ann. 23. 151). Ein Gemenge von Phosphorwasserstoffgas und atmosphärischer Luft entzündet sich bei der gewöhnlichen Luftwärme, wenn es unter einen geringeren Druck gebracht wird, als der Luftdruck ist. Die zur Einleitung des Verbrennungsprozesses nöthige Erwärmung kann durch ein beliebiges Wärmeerregungsmittel hervorgerufen werden, und es ist für das Verbrennen selbst einerlei, aus welcher Wärmequelle man schöpft. Man zündet oft Schwamm durch concentrirtes Sonnenlicht, unsere Kerzen und das Brennholz durch Mittheilung von einem schon brennenden Körper an, bei den sogenannten chemischen Feuerzeugen (wo Schwefelkerzchen mit chlorsaurem Kali überzogen sind und in Schwefelsäure getaucht werden) ist es ein chemischer Prozeß, der zur Entzündung die Wärme liefert, bei andern Zündmaschinen wirkt ein elektrischer Funke, beim Feuerschlagen der Stoß; die Wilden reiben zwei Hölzer auf einander bis sie brennen. Manche poröse Körper verdichten einige Gase so stark, daß die dadurch erregte Wärme zu ihrer Entzündung hinreicht. Dieses ist z. B. mit dem fein zertheilten Platin, mit Gold- oder Silberplättchen, nach Hare auch mit Asbest oder Holzkohle (welche man unter einem luftleeren Recipienten in eine Lösung von Chlorplatin getaucht, dann 24 Stunden getrocknet und zuletzt geglüht hat) der Fall, die Knallgas, wenn es ganz frei von Kohlenoxyd und öhlbildendem Gas ist, bis zur Entzündung in ihren Poren verdichten können (Pogg. Ann. 17. 101; 31. 512; 39. 385). Etwas Aehnliches scheint bei gepulverten Kohlen die Selbstentzündung zu bewirken (Zeitschr. 9. 128. Vergleiche *Phil. Mag. Aug.* 1833, *p.* 89, oder Heßler's Jahrb. 1. Jahrgang, S. 57). Wird Eisenoxyd durch Wasserstoffgas zu Eisen reducirt, so erscheint das Eisen als gepulverte Masse, die sich in Berührung mit atmosphärischer Luft schnell entzündet.

460. Ist der Verbrennungsprozeß einmal eingeleitet, so liefert er selbst die zu seiner Fortsetzung nöthige Wärme, indem die dabei erregte Temperaturerhöhung in der Regel größer ist, als sie zur Unterhaltung des Brennens Noth thut. Außer einer bestimmten Temperatur sind aber noch andere Bedingungen zum Unterhalten des Verbrennens nothwendig, und zwar 1) Zufluß von Sauerstoff in hinreichender Menge und mit der nöthigen Geschwindigkeit. 2) Berührung zwischen diesem und dem Brennstoffe. Jeder Brennstoff fordert nämlich eine bestimmte Menge Sauerstoff, um sich mit ihm zu verbinden. Fließt nicht so viel zu, als nöthig ist, so erleidet der Verbrennungsprozeß Abbruch, und es wird bald nicht mehr Wärme genug entwickelt, als zur Fortdauer desselben nöthig ist. Dieser Zufluß von Sauerstoff wird durch die beim Verbrennen erregte Temperaturerhöhung selbst bewerkstelliget. Die warme Luft steigt nämlich über dem brennenden Körper in die Höhe, und kältere fließt von der Seite zu, um den von ersterer verlassenen Platz einzunehmen. Befindet sich aber der Brennstoff in freiem Raume, so kommt nur ein Theil der zuströmenden, Sauerstoff führenden Luft mit ihm in Berührung; dieser Theil genügt zwar für Körper, welche nur wenig Sauerstoff brauchen, wie Weingeist, Holz 2c., und solche brennen darum auch sogar im Freien oder auf einem offenen Herde; solche aber, die viel Sauerstoff bedürfen, wie Steinkohle, Anthracit, Coaks 2c. muß man auf Roste legen und in Essen einschließen, damit die Luft gezwungen werde, unter diesen Körpern einzutreten und den Brennstoff zu berühren, auch bringt man verticale Luftkanäle, Schornsteine an, wodurch die Geschwindigkeit der aufsteigenden, bereits des Sauerstoffes beraubten, und hiedurch mittelbar auch der Zufluß der Sauerstoff führenden Luft vermehrt wird. In besonderen Fällen werden sogar künstliche Zuführungen verdichteter Luft durch Gebläse nöthig. Ist die zuströmende Luft schon für sich heiß, so braucht sie nicht erst auf Kosten des brennenden Körpers erhitzt zu werden, und das Verbrennen geht um so rascher und vollkommener vor sich (Anwendung der heißen Luft bei Hochöfen, Frischfeuer 2c.). Daß der Sauerstoff den brennenden Körper an möglichst vielen Stellen berühren müsse, geht aus vielen Erscheinungen hervor. Im comprimirten Sauerstoffgase verbrennen Körper viel lebhafter, als in solchem von gewöhnlicher Dichte; verdünnt man den Sauerstoff, oder mengt ihn mit andern Gasen, so dient er bei weitem nicht mehr so gut zum Verbrennen. Eisendraht brennt recht gut in Sauerstoffgas, aber nicht in atmosphärischer Luft, worin nur $^1/_5$ Sauerstoffgas vorkommt, außer man bringt sie auf ihre fünffache Dichte, wo sie dann wie reines Sauerstoffgas wirkt. Ueberzieht man einen sonst guten Brennstoff mit einem nicht brennbaren Materiale, so hindert man dadurch die Berührung des ersteren mit Sauerstoffgas, und macht, daß er nicht mehr brennt. Dieses ist z. B. der Fall beim Aldinischen Feuersicherheitskleide (Schafwolle mit Kochsalzsoole getränkt), auch die Feuer sichernden Anstriche gehören hieher. Wird das Verbrennungsproduct nicht verflüchtiget, so hindert es ebenfalls den Zutritt des Sauerstoffes zum Brennstoffe und thut dem Ver-

brennen Einhalt. So brennt ein Stück Eisen, das sich in Sauerstoffgas oder in einer Schmiedesse entzündet hat, in der atmosphärischen Luft nicht fort, weil das Eisenoxyd nicht verflüchtiget wird.

Die Nothwendigkeit einer hinlänglichen Anzahl von Berührungspuncten zwischen Brenn- und Zündstoff erklären es, warum jeder Körper verlischt, wenn er in atmosphärische, bis zu einem gewissen Grade verdünnte Luft kommt. So verlischt Wasserstoffgas in 8fach verdünnter Luft, aber Schwefel brennt noch bei 15facher, Phosphor bei 63facher Verdünnung der Luft, Wasserstoffphosphorid blitzt noch in möglichst verdünnter Luft. Wenn man in einer abgeschlossenen Portion atm. Luft zu gleicher Zeit eine Wachskerze, Wasserstoffgas, Schwefel und Phosphor anzündet; so verlischt zuerst die Kerze, dann das Hydrogengas, hierauf der Schwefel und endlich der Phosphor.

461. In dem so eben Gesagten sind auch die Mittel enthalten, wodurch man den Verbrennungsprozeß unterdrücken kann. Diese laufen im Allgemeinen darauf hinaus, so viel Wärme abzuleiten, daß der Rest nicht mehr die nöthige Verbrennungstemperatur gewährt, den Zufluß des Sauerstoffes abzuhalten, oder dessen Geschwindigkeit unter eine gewisse Grenze herabzusetzen, endlich den Brennstoff vor Berührung mit demselben zu schützen. Alle feuerlöschenden Mittel beruhen auf einer oder der andern dieser Bedingungen. Das Ausblasen einer brennenden Kerze, Auslöschen brennender Kohlen durch Auseinanderbreiten der einzelnen Stücke, das Schließen eines Kamines, in welchem es brennt, Zuspritzen von Wasser, bedecken mit Sand, Mist, Häckerling erklären sich leicht aus dem Vorhergehenden. Der abkühlenden Wirkung der Metalle wird es auch zugeschrieben, daß Flammen nicht durch ein Drahtsieb von bestimmter Feinheit des Geflechtes brennen. So z. B. brennt eine Weingeistflamme nicht mehr durch ein solches Sieb, wenn 100 Oeffnungen auf den Q. Zoll desselben kommen, wohl aber Wasserstoffgas. Darauf beruht Davy's Sicherheitslampe (eine kleine Laterne aus dünnem, siebartig geflochtenen Metalldrahte), mit der man sich in Oerter wagen darf, wo Knallluft enthalten ist, ohne befürchten zu dürfen, daß sich die Entzündung außerhalb des Drahtgeflechtes fortpflanze. (Vergl. Libri in Zeitschr. 3. 204.)

Eine Laterne, mit Drahtgeflecht umgeben, kann man mit brennender Kerze mitten in Stroh oder Heu stellen, ohne eine Fortpflanzung des Feuers befürchten zu dürfen. Der zu geringen Lichtstärke, welche eine solche Lampe für sich gibt, kann man durch einen beweglichen Hohlspiegel abhelfen, den man dahin wendet, wo man die Beleuchtung am besten braucht. Kommt man mit einer solchen Lampe in einen Raum, der brennbare Luft enthält, so erscheint die gewöhnliche Flamme mit blauer Spitze von desto größerer Länge, je mehr solches Gas vorhanden ist; die Gegenwart des Kohlensäuregases gibt sich durch häufigeren Rauch und trübes Brennen kund. Auf einem ähnlichen Grunde beruht auch Aldini's Sicherheitspanzer (ein aus Metalldraht geflochtenes Ueberkleid), das man über ein salzgetränktes Wollenkleid anzieht, um gegen Flammenfeuer geschützt zu werden. Brennendes Holz, Papier, ja selbst Terpentinöhl wird durch einen Ueberwurf von Häckerling schnell gelöscht, selbst ein in Häckerling gestellter glühender Körper vermag denselben nicht anzuzünden (Zeitschr. n. F. 2. 279). Es ist merk-

würdig, daß das Sonnenlicht den Verbrennungsprozeß schwächt, wie sich dieses aus Mac-Keever's Versuchen ergab, der Wachs- und Unschlittkerzen im Finstern, im Schatten und in einem vom directen Sonnenlichte beschienenen Orte brennen ließ, und bemerkte, daß davon im ersten Orte am meisten, im zweiten etwas weniger, im dritten endlich am wenigsten verzehrt wurde. Da ein langsames Verbrennen bei einer niederen Temperatur eher vor sich gehen kann, als ein rasches, so kann es geschehen, daß ein Körper, dem man die zur Unterhaltung eines lebhaften Brennens nöthige Temperatur genommen hat, doch noch fortfährt, langsam zu verbrennen. Dieses ist mit dem Weingeiste im sogenannten Glühlämpchen der Fall. Wird nämlich über dem Dochte eines Alkohollämpchens ein spiralförmig gewundener Platindraht oder eine mit Platin überzogene Glaskugel angebracht, das Lämpchen angezündet, und wenn das Platin glüht, wieder ausgelöscht, so dauert doch das langsame Verbrennen des Weingeistes fort; man bemerkt keine Flamme mehr, sieht aber im Dunkeln das Platin deutlich glühen, bis aller Weingeist verzehrt ist.

462. Man kann das Verbrennungsproduct, die beim Verbrennen entwickelte Wärme und das Licht zum Gegenstande einer besonderen Berücksichtigung machen, und in der That leitet man den Verbrennungsprozeß immer wegen einem oder dem andern dieser Puncte ein. Wir wollen darum auch jeden einzelnen näher betrachten. Das Verbrennungsproduct ist zwar immer ein Oxyd, aber verschieden nach Maßgabe des Brennstoffes, ob derselbe chemisch einfach oder zusammengesetzt ist, und bei welcher Temperatur das Verbrennen vor sich geht. Der einfachste Hergang findet beim Verbrennen des Wasserstoffes Statt. Dieser bildet beim Verbrennen eine Flamme, d. h. er erscheint als leuchtendes Gas, und bildet durch Verbindung mit Sauerstoff Wasser. Verwickelter ist schon der Verlauf beim Verbrennen des Kohlenstoffes. Dieser brennt als ein nicht flüchtiger Stoff nur mit Gluth, außer bei sehr hoher Temperatur, wo äußerst feine Kohlentheile eine Art Atmosphäre um den compacten Kohlenkörper bilden und als Flamme erscheinen. Das Verbrennungsproduct kann Kohlensäure und Kohlenoxydgas seyn, je nachdem die Temperatur mehr oder weniger hoch ist; ja die schon gebildete Kohlensäure kann beim Durchgehen durch glühende Kohlen durch Aufnahme von mehr Kohlenstoff in Kohlenoxydgas zurückgeführt werden; namentlich scheint dieses beim Hochofenprozesse der Fall zu seyn. Beim Verbrennen zusammengesetzter Stoffe vereinigt sich zuerst jenes Element mit dem Sauerstoffe, welches zu demselben die größte Verwandtschaft hat, und erst, wenn dieses geschehen ist, kommt die Reihe an die andern Elemente. Bei Kohlenwasserstoffverbindungen ist es der Wasserstoff, der zuerst verbrennt, und wenn nicht genug Sauerstoff vorhanden ist, um auch den Kohlenstoff zu oxydiren, wird dieser als Kohle abgeschieden. Beim Verbrennen von Kohlenstickstoffverbindungen geht der Kohlenstoff mit dem Sauerstoffe eine Verbindung ein, der Stickstoff aber wird abgeschieden, und nur selten bilden sich Stickstoffoxyde. Unsere gewöhnlichen Brennstoffe, wie Weingeist, Oehle, Holz, Steinkohlen, Coaks :c. erleiden zuerst eine Zerlegung; die äußere, aus den

brennenden Zersetzungsproducten bestehende Hülle bildet gleichsam ein Gefäß, in welchem der Rest des Brennstoffes eine trockene Destillation (I. 105) erleidet. Die Producte dieser Destillation richten sich nach der Beschaffenheit des Brennstoffes und der vorhandenen Temperatur. Das letzte Product des Verbrennens solcher Stoffe ist immer Wasser und Kohlensäure. Doch wird dieses nur erzielt, wenn das Verbrennen vollkommen vor sich geht; wo es an der hinreichenden Temperatur gebricht, oder nicht Sauerstoff genug vorhanden ist, um allen Kohlenstoff zu oxydiren, da wird ein Theil des letztern abgeschieden, und bildet, im fein zertheilten Zustande der weggeführten Luft und dem Wasserdampfe beigemengt, den Rauch. Setzt sich dieser an kältere Körper an, so bildet er den Ruß. Oft wird wohl der Kohlenstoff oxydirt, aber nicht in Kohlensäure, sondern nur in Kohlenoxydgas verwandelt. Daran ist oft eine zu geringe Temperatur Schuld. Meistens werden mit dem Rauche auch einzelne Destillationsproducte unzersetzt fortgerissen, wie Essigsäure, Kreosot 2c., und diese geben dann dem Rauche einen eigenthümlichen Geruch und verleihen ihm eine eigenthümliche Wirksamkeit (Räuchern des Fleisches). Erdige Bestandtheile der Brennstoffe und deren Salze bleiben als Asche zurück. Letztere enthält demnach die mineralischen Stoffe des Brennmateriales im concentrirten Zustande, wo man sie daher leicht durch chemische Mittel entdecken kann (Laugenbereitung, Pottaschensieden 2c.)

463. Jeder Brennstoff erzeugt bei seiner Verbindung mit Sauerstoff eine gewisse Menge Wärme, welche unverändert dieselbe bleibt, die Verbindung mag rasch oder langsam vor sich gehen, und der Sauerstoff mag dem Brennstoffe im reinen Zustande oder in der atmosphärischen Luft, reichlich oder sparsam zugeführt werden. Die dadurch erzeugte Temperaturerhöhung ist aber von der Zeit abhängig, innerhalb welcher diese Wärmemenge entwickelt wird, und natürlich desto höher, je rascher die Entwicklung vor sich geht. So lange man nicht die bei der chemischen Verbindung aller einfachen Stoffe frei werdende Wärmemenge ausgemittelt hat, ist es unmöglich, die bei der Oxydation chemisch zusammengesetzter Körper sich entwickelnde vorauszusagen; nur weiß man, daß ein zusammengesetzter Stoff immer weniger Wärme gibt, als jeder seiner Bestandtheile für sich, weil jener Theil der Wärme abgeht, der sich bei der Bildung der Zusammensetzung entwickelt hat und bereits zerstreut ist. Für solche Körper ist in der Regel die Wärmemenge desto größer, je mehr Sauerstoff aufgenommen wird. Zur Ausmittlung dieser Wärmemenge bedient man sich entweder des Eisapparates (384), oder des von Rumford angegebenen Calorimeters, der aus einem kupfernen Gefäße A (Fig. 376) besteht, in welchem sich eine schlangenförmig gewundene, kupferne Röhre B befindet, die durch dessen Boden geht und außerhalb desselben einen Trichter bildet. Beim Gebrauche dieses Instrumentes wird die zu verbrennende Substanz unter der Mündung der Schlangenröhre angezündet, nachdem man vorläufig das Gefäß des Calorimeters mit Wasser gefüllt hat. Man wiegt den Körper vor und nach dem Verbrennen, und sieht zu, welche Temperaturerhöhung das Wasser im Gefäße erfahren hat.

Die gewöhnlichen Materialien, die man zum Behufe der Wärmeentwicklung verbrennt, sind Holz, Holzkohlen, Steinkohlen und Torf. Frisches Holz enthält immer viel Wasser, das der Wärmeentwicklung schadet; nach M. Bull beläuft sich der Wassergehalt im Mittel auf 42 vom Hundert, selbst Holz, das schon 8 — 12 Monate in der Luft getrocknet wurde, enthält noch 25 pCt. Nach Bull geben selbst gleich stark ausgetrocknete Hölzer nicht gleich viel Wärme. Nach desselben Versuchen sind die entwickelten Wärmemengen bei gleichem Volum des Holzes folgende: verkleinerte Rinde 100, Eiche 86, Esche 77, Buche 65, Ulme 58, Birke 48, Kastanie 52, Weißbuche 65, Fichte 54, Pappel ital. 40. Alle Gattungen Holzkohlen entwickeln beim Verbrennen gleich viel Wärme, die compacteren verbrennen langsamer als die mehr porösen. Gewöhnliche Kohlen enthalten fast immer 7 pCt. an unverbrennlichen Stoffen. Kohlen liefern im Durchschnitte dreimal mehr Wärme, als eine gleiche Gewichtsmenge Holz. Steinkohlen liefern nach Bull im Durchschnitte $^2/_3$ der Wärme, welche ein gleiches Gewicht Holzkohlen gibt. Guter Torf liefert nach Blavies nur $^1/_2$ von der Wärme, welche Steinkohlen geben. Nach Versuchen verschiedener Gelehrten werden durch 1 Pfd. von nachstehenden Körpern so viele Pfund Wasser von 0 — 100° erwärmt, als die beigesetzten Zahlen ausweisen: Kohlenwasserstoffgas 62,12; Kohlenoxydgas 18,57; trockenes Holz 36,66; Holz mit 20 pCt. Wasser 29,45; detto mit 25 pCt. Wasser 26,00; Holzkohlen 73; Steinkohlen der besten Qualität 60,50; Coaks von 10 pCt. Asche 63,45, von 5 pCt. Asche 66; Torf gewöhnlicher 15,00; Baumöhl 90,44; gereinigtes Rüböhl 93,07; Schwefeläther (0,728 spec. G.) 80,30; Alkohol (0,8176 sp. G.) 61,95; Talg 71,86; weißes Wachs 94,79; Steinöhl (0,827 sp. G.) 73,38; Terpentinöhl 45,00.

464. Wiewohl man häufig den Verbrennungsprozeß der dabei entwickelten Wärme wegen anstellt, so kann man es doch nie dahin bringen, das ganze dabei entwickelte Quantum Wärme nutzbar zu machen, ja man begnügt sich in vielen Fällen sogar mit einem sehr kleinen Theile des Ganzen. Was zur Erwärmung des Mauerwerkes verwendet wird, ist für den wesentlichen Zweck so gut wie verloren; die von der Luft in den Schornstein fortgeführte Wärme unterhält zwar den nöthigen Luftzug und ist in sofern von Nutzen, aber sie hilft nicht die eigentliche Absicht, Temperaturerhöhung unmittelbar erreichen; selten ist der Brennstoff ganz trocken, und wenn er dieses nicht ist, muß ein Theil der Wärme daran gewendet werden, das Wasser zu verdampfen; es ist fast unmöglich, immer den Luftzufluß der Lebhaftigkeit des Verbrennens ganz anpassend zu unterhalten. Wird nun zu wenig Luft zugeführt, so wird ein Theil des Brennstoffes mechanisch fortgerissen, ohne zu verbrennen, und bildet jene schwarzen Rauchwolken, welche man über so vielen Schornsteinen sieht; wird aber zu viel Luft zugeleitet, so hat man eine zu große Masse derselben zu erwärmen. Jedes neue Zulegen von Brennstoff hat eine Abkühlung der brennenden Masse zur Folge, und hindert darum das vollkommene Verbrennen. Daher kommt es, daß in gewöhnlichen Zimmerbeheizungen nur $^1/_3$, bei offenen Kochherden nur $^1/_{20}$, ja nach Bunsen's Wahrnehmungen (Pogg. Ann. 46. 217) selbst in einem guten Hochofen nur $^1/_4$ der ganzen entwickelten Wärme nutzbar gemacht wird. Am leichtesten hält man die Wärme beim Verbrennen von Knallluft zu-

sammen, und darum, und weil hier der Verbrennungsprozeß ganz vollkommen vor sich geht, kann man auf diesem Wege die höchste Temperatur hervorbringen (Neumann'sches Gebläse).

465. Der Verbrennungsprozeß liefert nebst Wärme auch Licht. Gibt der Brennstoff bei der Hitze, der er ausgesetzt ist, keine flüchtigen Bestandtheile, wie z. B. gut ausgebrannte Holzkohle, Coaks rc., so glüht er ohne Flamme; erhält er aber solche flüchtige Theile, so liefert er eine Flamme, wie z. B. Holz. Manche Körper liefern bei der Zersetzung, die sie beim Verbrennen erleiden, lauter flüchtige Theile, wie z. B. Weingeist, und solche geben dann nur eine Flamme ohne Gluth.

466. Das Leuchtvermögen eines brennenden Körpers hängt besonders von seiner Dichte und von seiner Natur ab. In der Regel leuchten die viel dichteren, festen und tropfbaren Körper mehr als die mit einer Flamme brennenden minder dichten Gase, und die Leuchtkraft der letzteren wird durch einen festen Körper, der bei der größeren Hitze der brennenden Gase sehr stark glüht, ungemein erhöht. Eine Wasserstoffgasflamme leuchtet nur sehr wenig; leitet man aber das Gas vorläufig durch Terpentinöhl, so nimmt es den Dampf desselben auf, und besitzt dann eine bedeutende Leuchtkraft. Die Flamme von verdichtetem Knallgase leuchtet viel stärker, als die von demselben Gase in natürlicher Dichte. Oehlbildendes Gas gibt eine stark leuchtende Flamme, wenn beim Verbrennen zuerst die Kohle ausgeschieden wird und dann verbrennt; doch wird die Lichtstärke aller Körper noch mehr erhöht, wenn man einen Platindraht in die Flamme hält, weil dieser schnell weißglühend wird. Die Flamme des gewässerten Weingeistes gibt ein sehr schwaches Licht; tränkt man aber den baumwollenen Docht einer Weingeistlampe mit salzsaurer, schwefelsaurer oder kohlensaurer Soda, so erhält man eine stark leuchtende Weingeistflamme. Ein Tropfen Oehl auf den Docht gegeben, oder 0,15 Terpentinöhl dem Weingeiste beigemischt, ertheilt der Flamme die Intensität eines Kerzenlichtes. Phosphor brennt in der Luft mit starkem, aber dem Auge noch wohl erträglichen Lichte, im Sauerstoffgase hingegen mit blendendem Glanze. Alle Bedingungen der erhöhten Lichtentwicklung scheinen beim Kalke zusammenzuwirken, den man in eine mit Sauerstoffgas angefachte Weingeistflamme oder in eine Knallgasflamme bringt; darum leuchtet er auch mit einem ungemein intensiven Lichte. (Talbot und Blackadder in Zeitschr. 1. 403. Drummond ebend. 1. 306. Pleischl ebend. 1. 390. Döbereiner in Schweigg. J. 62. 87. Pfaff in Pogg. Ann. 40, 517.)

Eine gewöhnliche Kerzenflamme hat unten einen blauen Rand, der in einen schwach leuchtenden Saum übergeht; gleich über dem Dochte befindet sich ein kegelförmiger dunkler Raum und zwischen diesem und jenem Saume der leuchtendste Theil des Ganzen. Anders verhält es sich bei einer Flamme, die mit einem Löthrohre angeblasen wird. Diese hat gleich im Inneren einen langen, nicht leuchtenden Kegel, welcher sich wie der äußere Saum der gewöhnlichen Kerzenflamme verhält. — Rumford hat über die Lichtstärke brennender Körper viele interessante Versuche

angestellt. Nach diesen braucht man, um durch eine bestimmte Zeit eine gleiche Lichtstärke zu erlangen, folgende Mengen des Brennmaterials dem Gewichte nach: Von einer gut geputzten Wachskerze 100, von einer gut geputzten Unschlittkerze 101, von einer ungeputzten Unschlittkerze 229; von Baumöhl in einer Argand'schen Lampe 100, von demselben in einer Lampe mit breitem Dochte 129, von Ripsöhl in einer gewöhnlichen Lampe 125, von Brennöhl in derselben Lampe 120. Bei Kerzen kommt es auf die rechten Dimensionen des Dochtes an; ist dieser zu kurz, so entsteht ein Abfließen der geschmolzenen Masse, und durch zu viel Schmelzen derselben eine der Lichtentwicklung nachtheilige Wärmeconsumtion; ist er zu lang, so erzeugt er Schatten, kühlt zu schnell ab, scheidet unverbrannte Kohle aus, und vermindert so die Lichtstärke. Hat eine Kerze mehrere Dochte, so müssen dieselben eine solche Entfernung von einander haben daß die einzelnen Flammen nicht vollkommen geschieden erscheinen. Christison und Turner haben mit Rumford's Photometer eine Reihe sehr wichtiger Versuche über das Gaslicht angestellt. Nach diesen Versuchen wird die Lichtstärke eines Gaslichtes durch Verlängerung der Flamme bedeutend gesteigert, und zwar in einem größeren Verhältnisse als die Gasconsumtion. Bei Gas aus Steinkohlen erhält man bei einer gleichen Gasconsumtion von Flammen, deren Länge 2, 3, 4, 5 Zoll beträgt, die Lichtstärken 100, 109, 131, 150, 150 und für Gas aus Oehl für dieselben Flammenlängen die Lichtintensitäten 100, 282, 560, 582, 604, so daß also durch bloße Verlängerung der Flamme ohne größeren Gasaufwand die Lichtstärke auf das 6fache gesteigert werden kann. Auch als man dem Gase mehrere in einem kreisförmigen Ringe liegende Ausflußöffnungen von bestimmter Größe und Anzahl verschaffte, war die Lichtstärke größer, als wenn man eine einzige Oeffnung angebracht hatte, welche in derselben Zeit die nämliche Gasmenge ausströmen ließ. Man konnte so ohne Vermehrung des Gasbedarfes die Lichtstärke $1^1/_2$mal vergrößern.

467. Die Flamme eines brennenden Körpers hat eine oben zugespitzte **Gestalt**, weil das zum Leuchten erhitzte Gas leichter ist, als die atm. Luft, und daher in derselben aufsteigt; nur durch einen künstlichen Luftstrom kann man der Spitze des Flammenkegels eine andere Richtung geben (Löthrohrflamme). Ihre Größe richtet sich nach der Menge des auf einmal entwickelten Gases und nach dem Zuflusse von Sauerstoffgas. An einem Gasbehälter kann man die Flamme nach Belieben vergrößern, indem man die Ausflußöffnung erweitert. Eine gewöhnliche Gasflamme brennt nur an der Oberfläche, das inwendige Gas kommt erst zum Leuchten, wenn es die oberste, äußere Flammengrenze erreicht. Davon überzeugt man sich, wenn man eine solche Flamme durch ein Drahtnetz abschneidet und von oben in sie hineinsieht; denn man findet sie in der Mitte dunkel und gleichsam mit Rauch erfüllt. Man kann ein Stückchen Phosphor mitten hineinhalten, ohne daß es brennt; so wie man aber mit einem Löthrohre Luft hineinbläst, beginnt das Gas im Inneren der Flamme zu leuchten, und der Phosphor fängt Feuer. Eine Flamme, durch welche ein Luftzug geht, wie bei der Argand'schen Lampe, bildet einen leuchtenden Ring. Die Flamme ist nur durchscheinend, keineswegs vollkommen durchsichtig; daher zwei Flammen bei weitem nicht so viel Licht nach einem Orte hinsenden, wenn sie hinter einander stehen, als wenn sie sich neben einander befinden.

468. Die Farbe einer Flamme hängt von der Natur des Brenn- und Zündstoffes, von der größeren oder geringeren Lebhaftigkeit des Verbrennens und von der Beimischung fremdartiger Bestandtheile ab. Nach Brewster gibt jeder unvollkommen brennende Körper gelbes Licht. Selten hat eine Flamme an allen Stellen einerlei Farbe, unten ist fast jede blau.

Phosphor, Zink, Arsenik brennen weiß, Selen azurblau, Sodasalze gelb, Kalisalze blaß violett, Kalksalze ziegelroth, Strontiansalze karmesinroth, Lithionsalze roth, Barytsalze blaß apfelgrün, Kupfersalze grün oder grünlichblau, Eisensalze weiß. Zu allen diesen Versuchen passen Chlorsalze am besten. Man tränkt damit einen Docht oder mischt sie zu Weingeist. Schwefel brennt in atm. Luft mit bläulicher, in Sauerstoffgas mit violetter, im oxydirten Stickgase mit gelblich rother Flamme. Weingeist, in welchem Borsäure oder salpetersaures Kupfer aufgelöst wurde, brennt grün, mit Bariumchlorid gelb, mit Strontiumchlorid roth, mit Kampher weiß; wird ein Stückchen Kalk auf den Docht gelegt, brennt er grün und roth. Verbrennt man Weingeist von 0,835 spec. Gew. in einer Lampe ohne Docht, und gestattet der Flamme eine Länge von ½ Z., so erscheint sie völlig blau; bringt man aber die Länge der Flamme auf 1 — 1½ Z., so erscheint sie beinahe weiß. Wird dieser Weingeist stark gewässert und mittelst eines Dochtes angezündet, so gibt er fast lauter gelbes Licht. Eine gewöhnliche Gasflamme leuchtet mit schönem weißen Lichte, wenn sie eine Länge von 1 — 2 Z. hat; reducirt man durch Verkleinerung der Ausflußöffnung diese Länge auf 2 — 3 L., so sendet sie fast lauter blaues Licht aus. Brennt Oehl ohne Docht mit großer Flamme, so gibt es ein blaues Licht mit vielem Weiß, vermindert man den Oehlzufluß, so wird die Flamme blau mit einer gelben Stelle, bei fortgesetzter Verminderung des Oehlzuflusses wird sie endlich ganz blau. Ein so eben ausgelöschtes Talglicht zeigt im Dunkeln am Dochte einige Augenblicke ein schwaches Leuchten; eben so gibt Wachs oder Talg, auf heißes, aber nicht leuchtendes Eisen gestrichen, ein blaßblaues Licht, welches das schwache Verbrennen begleitet. Merkwürdig ist die Aenderung einer Hydrogengasflamme, die sie erleidet, wenn man Sauerstoffgas durch dieselbe leitet. Die Flamme des unter einem bestimmten Drucke ausströmenden Wasserstoffgases ist mehr oder weniger lang, conisch, und ein schwacher weißer Lichtmantel umgibt den inneren, fast lichtlosen Theil derselben. So wie Sauerstoffgas zutritt, zieht sich die Flamme zurück; in der Nähe der Ausflußöffnung entsteht eine dunkelblaue Partie, die von einer scharf begrenzten, conischen, bläulichweißen Hülle umgeben ist, welche selbst wieder von einem violettbläulichen Saume begrenzt wird.

469. Woher beim Verbrennen die Wärme und das Licht komme, läßt sich nach dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft noch nicht ausmitteln. Stahl nahm zur Erklärung dieser Phänomene einen eigenen Stoff, das Phlogiston an, von dem er voraussetzte, daß ihn alle brennbaren Körper enthalten, daß er beim Brennen entweiche, und dadurch Licht und Wärme erzeuge. Lavoisier meinte, das Verbrennen werde durch einfache Wahlverwandtschaft vermittelt, indem nämlich der brennende Körper den Sauerstoff der atm. Luft aufnimmt, und dadurch die Wärme, wodurch jener als Gas existiren konnte, frei macht. Mit der Wärme entwickelt sich aus dem Sauerstoffe auch das Licht. Allein es läßt sich durch Rechnung nachweisen, daß die frei ge-

wordene Wärme mehr beträgt, als im Oxygengase enthalten seyn kann, und der etwa beim Verbrennen vorgehenden Capacitätsänderung zuzuschreiben ist. Andere lassen das Verbrennen durch doppelte Wahlverwandtschaft vor sich gehen, und nehmen demnach an, der Sauerstoff verbinde sich mit dem brennbaren Körper, und der Wärmestoff des ersteren mit dem Lichtstoffe des letzteren. Besteht das Wesen der Wärme in Bewegung, so ist die Frage, woher die beim Verbrennen entwickelte Wärme rührt, nicht schwer zu beantworten.

Siebentes Kapitel.

Theoretische Ansicht der Wärmephänomene.

470. Man erklärt sich fast allgemein die Erscheinungen der Wärme durch Annahme eines Wärmestoffes. Die Schlußweise, durch welche man die Erklärung leistet, ist ungefähr folgende: Angenommen, daß es einen Wärmestoff gebe, so muß er auch in Körpern von der niedrigsten Temperatur noch vorhanden seyn, und in jedem Körper einen gewissen Grad von Expansivkraft besitzen, der von seiner Anhäufung und von der Größe der Anziehung abhängt, die zwischen ihm und dem Körper obwaltet. Je größer diese Anziehung ist, desto mehr wird seine Ausdehnsamkeit geschwächt, desto kleiner ist also bei derselben Wärmemenge die Temperatur des Körpers, und desto größer ist dessen Capacität. Nähert sich einem warmen Körper ein anderer, in welchem der Wärmestoff eine geringere Spannung hat, so wird er von jenem in diesen überströmen, bis er in beiden eine gleiche Ausdehnsamkeit besitzt; deßhalb wird einer abgekühlt, der andere erwärmt. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Uebergang des Wärmestoffes von einem Körper in den andern geschieht, muß nothwendig von dem Unterschiede der Spannung des Wärmestoffes in beiden abhängen. Der mit einem Körper durch Anziehung verbundene Wärmestoff bewirkt durch Reaction eine Vergrößerung des Volums, welche, bei übrigens gleichen Umständen, mit der Menge der Wärme zunehmen muß, aber ihr nur da proportionirt ist, wo sie ein reines Resultat der Wirkung des Wärmestoffes ist. In festen Körpern wird der Wärmestoff durch seine Expansivkraft der noch überwiegenden Cohärenz entgegen wirken; durch Anhäufung des Wärmestoffes wird aber diese Kraft immer mehr geschwächt, bis sie so weit abgenommen hat, daß die Theile in eine Entfernung von einander kommen, bei welcher die Unterschiede der Anziehung einzelner Stellen verschwinden. Sobald dieses erreicht ist, fängt der Körper an zu schmelzen. Ist er ganz tropfbar geworden, so braucht es doch noch eine neue Einwirkung des Wärmestoffes, um den expansibeln Zustand zu erzeugen, weil dazu ein gewisses Uebergewicht der abstoßenden Kraft des Wärmestoffes über die Anziehungskraft der kleinsten Theile der Körper erfordert wird; es geht, selbst wenn diese zwei Kräfte mit einander ins Gleichgewicht getreten sind, ein Körper nicht

bei dem geringsten Wärmezuflusse in den expansiblen Zustand über, weil äußere Kräfte die Spannkraft des Wärmestoffes einige Zeit überwältigen. Solche Kräfte sind: der Druck der Atmosphäre, oder wenn sich die Flüssigkeit im luftleeren Raume befindet, der Druck der entstandenen Dünste, und im Inneren noch dazu das Gewicht der oberen Schichten. Indeß findet doch dabei der Uebergang in den ausdehnsamen Zustand an der Oberfläche stets Statt, wenn der abstoßenden Kraft kein Hinderniß entgegen steht.

471. Man sieht hieraus, daß die Erklärung der meisten Wärmeerscheinungen aus dieser Hypothese, im Allgemeinen genommen, nichts Schwieriges an sich hat. Allein die Leichtigkeit, womit man mittelst dieser Annahme die Wärmephänomene selbst dem gemeinen Verstande begreiflich machen kann, ist offenbar das Einzige, wodurch sich diese Hypothese empfiehlt. Man darf sich auch darauf nicht viel zu Gute thun; denn man findet bei der Erklärung der Wärmephänomene immer nur jene Gesetze wieder, die man bei der qualitativen Annahme des Wärmestoffes schon vorausgesetzt hat. Abgesehen davon, daß man den Wärmestoff noch nicht isolirt darstellen konnte, daß er nicht die Eigenschaften anderer materiellen Dinge, z. B. Schwere, Undurchdringlichkeit rc. zeigt, so reicht er nicht einmal zur Erklärung aller Wärmephänomene aus; denn man erklärt daraus schwer oder gar nicht: 1) wie sich die Wärme unter allen Temperaturen strahlend fortpflanzen könne und von Körpern ausströme, die eine geringere Temperatur haben, als die Umgebung. Man kann sich überhaupt von dem Zustande einer ausdehnsamen Flüssigkeit, deren Fortpflanzung strahlend geschehen soll, wie dieses mit dem Wärmestoffe seyn müßte, keine klare Vorstellung machen, und es scheint, als läge in dieser Annahme selbst ein Widerspruch, indem man Fortpflanzung der Bewegung (in Strahlen) mit dem Fortschreiten der bewegten Masse verwechselt; 2) wie sich die Wärme, die bei der Annahme eines Wärmestoffes durch eine Anziehung von Seite der Körper in ihnen festgehalten wird, durch den leeren Raum fortpflanzen könne, der doch nicht mit einer neuen Kraft die des Körpers aufhebt. Man kann nicht einwenden, daß, was wir leeren Raum nennen, doch mit feinen Stoffen, z. B. mit Aether erfüllt sey, weil die Vertheidiger des Wärmestoffes meistens den Aether läugnen. Geben sie diesen zu, so bedarf es keines andern Stoffes mehr zur Erklärung der Wärmephänomene; 3) wie ein Körper ununterbrochen mit gleicher Stärke glühen und dabei immerfort Wärme in die Umgebung senden könne, welches besonders nach Rumford's Versuchen beim Reiben und auch bei Metallen geschieht, welche durch Elektricität glühend gemacht werden. Diese Schwierigkeit kann man nicht etwa durch Annahme einer Verminderung der Capacität erklären, denn bei Rumford's berühmtem Versuche mit den Kanonen hatten die Bohrspäne eine mit der ganzen Masse des Metalles gleiche Capacität; auch nicht dadurch, daß man annimmt, der Wärmestoff werde dem glühenden Körper von anderen wieder gleich zugeführt; denn diese Annahme streitet gegen ein anerkanntes Naturgesetz, vermöge welchem nur

der kältere Körper vom wärmeren Wärme gewinnt, und nicht umgekehrt. 4) Wird einmal zur Erklärung der Wärmephänomene ein eigener Stoff angenommen, so kann eine Wärmeeregung nur in einem Freimachen dieses Stoffes oder in der Verminderung der Capacität bestehen; allein die Wärmeerregung beim Reiben läßt sich daraus nicht erklären, und man ist gezwungen anzunehmen, es werde da wirklich Wärme erzeugt, nicht bloß schon vorhandene in Freiheit gesetzt (Vergleiche 445). 5) Endlich ist das Verhältniß zwischen Licht und Wärme nicht wohl erklärbar, besonders wenn man sich bei ersterem für das Vibrationssystem ausspricht, das doch von den optischen Erscheinungen am meisten begünstiget wird.

472. Wenn man die Wärmeerscheinungen mit denen des Lichtes und des Schalles vergleicht, so findet man eine sehr große Uebereinstimmung zwischen denselben. Licht und Wärme existiren häufig in demselben Körper gleichzeitig, und begleiten sich gegenseitig. Wärme und Licht erleiden dieselben Veränderungen und befolgen dieselben Gesetze, wie in 407 näher aus einander gesetzt worden ist. Zwischen Schall und Wärme gibt es eben so viele Analogien. Beide werden durch Reiben erregt und Körpern mitgetheilt; beide pflanzen sich strahlend fort; beide erleiden Reflexionen, und beide werden beim Uebergange von einem Mittel ins andere geschwächt. Gleichwie Schallstrahlen einen Körper zum Tönen bringen können, eben so vermögen Wärmestrahlen Körper zu erwärmen; während ein Körper mitklingt, pflanzt sich auch der Klang durch ihn fort, und während ein Körper durch einen andern erwärmt wird, gibt er auch Wärme an die Umgebung ab. Da nun unwidersprechlich bewiesen ist, daß das Wesen des Schalles in Schwingungen bestehe, ja eine strahlende Fortpflanzung nur aus Schwingungen begreiflich wird, indem die Erfahrung keine Flüssigkeit zeigt, deren Theile strahlend (in gerader Linie) fortschreiten; so fordern die Regeln der Analogie anzunehmen, das Wesen der Wärme bestehe, so wie das des Schalles und des Lichtes, in einer vibrirenden Bewegung. Ob aber die Schwingungen des Aethers oder jene der Körpertheile, oder beide zusammen den Grund der Wärmephänomene enthalten, darüber sind selbst die Vertheidiger dieser Ansicht nicht einig. So viel ist aber aus den früher aufgezählten Erscheinungen zu schließen, daß Licht und Wärme nicht von denselben Schwingungen herrühren können, und daß, wenn ja beiderlei Schwingungen dem Aether zukommen, er sich bei jeder Art derselben in einem besonderen Zustande befinden müsse. Bei der Bewegung der Wärme in Körpern scheinen die kleinsten Körpertheile selbst in Schwingungen zu seyn. Uebrigens ist es einleuchtend, daß dasjenige, was man in der Emissionshypothese Wärmemenge, Wärmevertheilung, Wärmecapacität, Latent- und Freiwerden von Wärme, Temperatur, Erwärmung und Erkaltung nennt, im Sinne der Vibrationshypothese lebendige Kraft der schwingenden Theile, Vertheilung dieser Kraft in einer Masse, lebendige Kraft der einzelnen Molekel oder Atome, Vergrößerung und Verkleinerung der Bahnen der

vibrirenden Theile bei der Formänderung der Körper, Geschwindigkeit der Bewegung der Atome oder Molecule, Zunahme und Abnahme der lebendigen Kraft seyn müsse ꝛc.

Ueber die Lehren dieses Abschnittes siehe: *Théorie analytique de la chaleur par M. Fourier. Paris* 1822. *Théorie math. de la chaleur par S. D. Poisson. Paris* 1838. *Traité de la chaleur et de ses applications aux arts et aux manufactures.* 2 *Tom. par E. Peclet. Paris* 1828. *A Treatise on heat by D. Landner. London* 1833. *An outline of the sciences of heat and electricity. By T. Thomson. London* 1841. *Nuovi trattati sopra il calorico, l' elettricità ed il magnetismo del Cav. L. Nobili. Modena* 1838.

Naturlehre.

Dritter Theil.

Naturerscheinungen im Großen.

Einleitung.

1. So wie man durch Vergleichung der Naturerscheinungen zur Kenntniß der Naturgesetze geleitet wird, und also jene vorzugsweise zur Entdeckung dieser gebraucht werden; eben so kann man auch die einmal klar erkannten Naturgesetze wieder benützen, um daraus Naturerscheinungen zu erklären. Vorzüglich interessant ist dieses, wenn man die bereits bewiesenen Gesetze der Sinnenwelt auf die Erscheinungen anwendet, welche im Großen auf unserer Erde, in der Atmosphäre und an den Himmelskörpern wahrgenommen werden. Diese Erscheinungen, auf ihre letzten Gründe zurückgeführt, machen den Gegenstand der angewandten Naturlehre aus, die hiernach in die physische Geographie, Meteorologie und Astronomie zerfällt, wovon es die erste mit der Beschaffenheit und den Veränderungen der Erde, die zweite mit den Erscheinungen in der Atmosphäre, und letztere mit den Phänomenen an Himmelskörpern und ihrer Erklärung zu thun hat.

2. Die Fortschritte, welche man bis jetzt in diesen sehr wichtigen Zweigen des menschlichen Wissens gemacht hat, sind sehr ungleich. Die Astronomie hat sich auf den Flügeln der mathematischen Analyse zu einer solchen Höhe und Vollkommenheit erhoben, daß ein vollständiger Unterricht hierin allein einen Lehrcurs von mehreren Jahren ausfüllen könnte, aber Zuhörer erfordert, die mit allen Kunstgriffen der Mathematik ausgerüstet sind; die physische Geographie und Meteorologie liegen hingegen fast noch in der Wiege, erfreuen sich aber gegenwärtig an der Hand einer nüchternen Beobachtung und unter dem Schutze der reinen Physik eines sehr erfreulichen Wachsthums und Gedeihens.

Erster Abschnitt.

Physische Astronomie.

Erstes Kapitel.

Himmelskörper überhaupt.

3. Dem unbefangenen Beobachter erscheint die Erde im sogenannten platten Lande als eine horizontale Ebene, und der Himmel als ein Gewölbe, das auf der Erde aufliegt, und an welchem sich die Sonne, der Mond und das unzählige Heer der Sterne befinden. Alle diese Himmelskörper scheinen von uns gleich weit entfernt zu seyn, weil uns alle Mittel, durch welche wir die Entfernungen irdischer Gegenstände nach bloßem Augenmaße zu beurtheilen pflegen, verlassen, und wir daher keinen Grund zu haben glauben, einen näher als den andern anzunehmen. Darum nennt man jene hohle Kugel, in der wir uns zu befinden glauben, die Himmelskugel oder Himmelssphäre.

4. Wer bloß nach sinnlichem Scheine urtheilt, könnte verleitet werden, zu meinen, die Hälfte des Firmaments werde von der Sonne, die andere Hälfte von den Sternen eingenommen, weil das freie Auge nach Sonnenaufgang gewöhnlich keinen Stern sieht. Allein schon die sehr gemeine Erfahrung, daß die Flamme einer brennenden Kerze in einem von der Sonne stark beschienenen Orte gar nicht gesehen wird, kann auf die Vermuthung führen, daß wir bei Tage die Sterne bloß wegen des unzählige Male stärkeren Sonnenlichtes nicht sehen; darin wird man noch mehr durch den Umstand bestärkt, daß am Morgen kurz vor Sonnenaufgang noch der ganze Himmel mit Sternen übersäet ist, wovon nach Sonnenaufgang kaum einer mit freiem Auge bemerkt wird. Zur vollen Gewißheit ist diese Wahrheit dadurch gebracht, daß man mittelst eines guten Fernrohres selbst bei hellem Tage Sterne sehen kann.

5. Die Erscheinungen, welche wir täglich an Sonne und Mond bemerken, nämlich, daß sie an einer Himmelsgegend, die man Aufgangsgegend, Orient, Ost nennt, auf- und an der entgegengesetzten, welche Abend, Untergang, Occident, West heißt, untergehen, bieten sich uns auch an den Sternen dar, bis auf einige wenige, die nur eine scheinbare Ausnahme von dem allgemeinen Gesetze machen, so daß die Bewegung von Ost nach West dem ganzen Himmel gemein ist. Sie heißt tägliche Bewegung, weil von einem Auf- oder Untergange bis zum nächst folgenden ein Tag verfließt.

6. Unter den Sternen gibt es einige, die immer an demselben Puncte des Horizontes auf- und untergehen, und beständig dieselbe Lage gegen einander beibehalten, so daß man erst nach einer Reihe von Jahren eine kleine Aenderung ihrer relativen Lage bemerkt. Diese heißen **Fixsterne** (stellae fixae); sie machen bei weitem den größten Theil der sichtbaren Himmelskörper aus. Andere hingegen gehen fast täglich an einem andern Puncte der Ostgegend auf, beschreiben bald größere, bald kleinere Bögen, und ändern ihre Lage gegen einander und gegen die Fixsterne. Diese heißen **Irrsterne, Planeten** (planetae). Von beiden verschieden sind die **Kometen** (cometae), welche meistens einen lichten Schweif oder Ring um sich haben. Die Sonne bietet in Betreff ihrer Bewegung Erscheinungen dar, welche mit den an Planeten beobachteten völlig übereinstimmen; die Folge wird aber lehren, daß sie doch nicht zu den Planeten zu zählen ist, weil diese Uebereinstimmung nur scheinbar ist.

7. Man kennt jetzt 11 Planeten: Merkur ☿, Venus ♀, die Erde ♀, Mars ♂, Ceres ⚳, Pallas ⚴, Juno ⚵, Vesta ⚶, Jupiter ♃, Saturn ♄ und Uranus ♅, nebst 18 Nebenplaneten oder Begleitern der Hauptplaneten, wovon die Erde einen, Jupiter vier, Saturn sieben und Uranus sechs hat. Der vorletzte Planet ist überdieß noch mit einem Ringe umgeben, der nach Einigen aus zwei, nach Anderen aus mehreren concentrischen Theilen besteht. Uranus ward 1781 von **Herschel**, Ceres 1801 von **Piazzi**, Pallas 1802 von **Olbers**, Juno 1804 von **Harding**, Vesta 1807 von **Olbers** entdeckt, die übrigen waren schon den Alten bekannt. — Es ist aus dem Vorhergehenden klar, daß die Planeten nebst der dem ganzen Himmel gemeinschaftlichen täglichen Bewegung auch noch eine **eigene** haben müssen. Man nennt sie ihre **jährliche** Bewegung. Sie sind der Erde ohne Vergleich näher als die Fixsterne, und erscheinen im Gesichtsfelde guter Fernröhre als vollkommene Scheiben; an den meisten bemerkt man sogar Flecken, die ihre Lage gegen den Rand der Scheibe verändern, und darum auf eine Axendrehung schließen lassen.

Zweites Kapitel.

Tägliche Bewegung der Himmelssphäre.

8. Da es bei der Beurtheilung einer Bewegung vor Allem auf den Standpunct ankommt, von dem man sie beobachtet; so muß zuerst der Ort der Erde in der Himmelssphäre näher bestimmt werden. Zu diesem Behufe lehrt die Erfahrung, daß der Abstand zweier fixen Puncte an der Himmelssphäre, z. B. zweier Fixsterne, von einander von derselben Größe erscheint, diese Puncte mögen gerade auf- oder untergehen, oder sich in was immer für einer Lage zwischen dem Auf- und Untergange befinden, und deutet hiedurch an, daß der Punct, für welchen dieses Statt findet, als Mittelpunct der Himmelssphäre an-

gesehen werden könne. Da dieses von jedem Orte auf der ganzen Erdoberfläche gilt, und zwei Fixsterne überall einen gleichen Abstand von einander zu haben scheinen; so muß auch jeder Punct der Erde als Mittelpunct der Himmelssphäre angesehen werden können, d. h. die Größe der Erde muß gegen die Größe der Himmelssphäre verschwinden.

9. Jeder Punct der Himmelssphäre beschreibt, vermög der täglichen Bewegung innerhalb eines Tages, einen ganzen Kreis. Ist die Lage dieses Kreises bestimmt und zugleich bekannt, in welchem Puncte desselben sich ein Stern befindet, den man als fixen Punct der Himmelssphäre betrachten kann, wie dieses mit den Fixsternen der Fall ist; so ist die tägliche Bewegung dieses Sternes gegeben. Zu diesem Behufe muß man, im Einklange mit dem gewöhnlichen Verfahren der Geometrie, jeden Punct des Himmels auf so viele Coordinaten beziehen, als zur völligen Bestimmung der Lage des Punctes erforderlich sind. Weil hier alle Puncte gleichsam an der Himmelssphäre erscheinen, mithin diese selbst schon eine Coordinate ersetzt, so bedarf man nur noch zweier Ebenen, oder weil diese die Himmelssphäre in Kreisen schneiden, zweier Kreise. Diese Ebenen oder Kreise wird man am besten durch die tägliche Bewegung selbst bestimmen.

10. Stellt sich der Beobachter so, daß seine rechte Seite nach Ost, seine linke nach West gerichtet ist; so sieht er nach derjenigen Gegend hin, welche Mitternacht, Nord genannt wird, und kehrt den Rücken der Mittagsgegend, Süd, zu. Betrachtet man die Sterne in der nördlichen Himmelsgegend, so bemerkt man, daß einige nie untergehen, sondern innerhalb eines Tages einen ganzen Kreis über dem Horizonte beschreiben. Dieser Kreis ist desto größer, je näher der Stern bei seiner tiefsten Stellung dem Gesichtskreise kommt. Man nennt solche Sterne Circumpolarsterne. Hieraus kann man wohl schließen, daß auch die andern Sterne, welche auf- und untergehen, einen ganzen Kreis beschreiben, und daß ein Theil desselben nicht für uns sichtbar sey, weil er unter dem Horizonte liegt: alles dieses wird erst zur vollen Gewißheit, wenn man beobachtet, daß Sterne, die nur kurze Zeit unsichtbar sind und unter dem Horizonte verweilen, zu vollkommenen Circumpolarsternen werden, wenn man sich näher nach Norden begibt, während andere, die nach Süden zu liegen und in unseren Gegenden nur kurze Zeit über dem Horizonte verweilen, ganz unsichtbar werden. Reiset man in südlichere Länder, so erfährt man das Gegentheil; da verschwinden nämlich nördlich liegende Sterne ganz, und südlich liegende, uns ganz unsichtbare, werden sichtbar; ja in Südamerika und in vielen andern südlichen Gegenden gibt es Circumpolarsterne, die bei uns gar nie aufgehen.

11. Weil die Fixsterne immer in derselben Lage gegen einander bleiben, so müssen sie bei der täglichen Bewegung Kreise beschreiben, deren Ebenen mit einander parallel sind, und die deßhalb Parallelkreise heißen. Die ganze Bewegung geschieht um eine gemeinschaftliche Linie, welche die Weltaxe (Himmelsaxe) heißt, und in unseren Gegenden gegen den Horizont geneigt erscheint. Die Puncte

der Himmelssphäre, welche die Axe trifft, heißen die **Pole**, und zwar der gegen Norden liegende, der **Nordpol**, der andere der **Südpol**. Bei uns liegt nur der Nordpol über dem Horizonte, und zwar, wie natürlich, in der Nähe desjenigen Sternes, der den kleinsten Parallelkreis beschreibt, und deßhalb auch **Polarstern** genannt wird. Der größte Parallelkreis heißt **Aequator**, der Punct am Himmel, den die durch den Scheitel eines Beobachters gehende, verticale Linie trifft, heißt **Zenith**, der ihm gerade entgegengesetzte, **Nadir**. Eine durch das Zenith und die Pole gehende Ebene heißt **Mittagsebene**. Sie theilt den Bogen, den die Sterne über dem Horizonte beschreiben, in zwei gleiche Theile, und in ihr haben sie den größten und kleinsten Abstand vom Horizont, d. i. die größte und kleinste **Höhe**. Ist ein Gestirn im Meridiane, so sagt man, es **culminire**. Der Durchschnittspunct des Horizontes und der Mittagsebene gegen Süden heißt der **Südpunct**. Sonst heißt jeder größte Kreis, welcher durch die beiden Pole geht, ein **Abweichungskreis**. Eine Ebene, welche durch den Mittelpunct der Himmelssphäre geht, und mit dem Aequator einen Winkel von $23\frac{1}{2}°$ einschließt, heißt **Ekliptik**, und ein auf der Ekliptik senkrechter und durch einen Pol derselben gehender Kreis wird **Breitenkreis** genannt. Die Ekliptik sowohl als die Aequatorialebene schneiden die Himmelssphäre in größten Kreisen, und diese beiden Kreise schneiden sich selbst wieder in zwei Puncten. Einer davon heißt **Frühlingsnachtgleichepunct**, der andere **Herbstnachtgleichepunct**. Der durch den Frühlingsnachtgleichepunct gehende Abweichungskreis wird als der **erste Abweichungskreis** angesehen. Eine auf dem Horizonte senkrechte Ebene heißt **Verticalebene**. Sie sowohl als der Horizont schneiden die Himmelssphäre in größten Kreisen. Der Horizontalkreis führt den Namen **Azimuthalkreis**.

Stellt (Fig. 377) C den Ort eines Beobachters vor, CZ die durch C gehende Verticale, Z sein Zenith, Hh den Horizont, P den Nordpol, p den Südpol, Pp die Weltaxe, Aa eine durch C gehende, auf Pp senkrechte Ebene; so ist Aa die Ebene des Aequators, PapA die des Meridians, und die mit Aa parallelen Kreise Bb, Dd, Ee, Ff, Gg, Kk, Ll, Parallelkreise, wovon Ff und Ee ganz über dem Horizonte liegen, während andere solche Kreise vom Horizonte geschnitten werden, so daß ein Theil über, der andere unter dem Horizonte liegt. Erstere Theile heißen **Tagbögen**, letztere **Nachtbögen**. Mm ist die Ekliptik, V der Frühlingsnachtgleichepunct, PN ein Stück eines Breitenkreises, HPh ist zugleich ein Verticalkreis. Mehrere dieser Kreise, wohl auch alle, kann man an einer Ringkugel oder an einer künstlichen Himmelskugel vorstellen.

12. Zur Bestimmung eines Punctes am Himmel dienen mehrere der genannten Ebenen und Kreise, und zwar: 1) Ein Abweichungskreis und der Aequator. 2) Ein Verticalkreis und der Horizont (Azimuthalkreis). 3) Ein Breitenkreis und die Ekliptik. Bevor man zur Bestimmung einzelner Puncte schreitet, müssen aber diese Ebenen und Kreise selbst bestimmt seyn.

13. Den genauesten Beobachtungen gemäß ist die tägliche Bewegung eine **gleichförmige**; daher müssen die zwei Theile eines Parallelkreises, welche zu beiden Seiten des ihn schneidenden Meridians liegen, in gleichen Zeiten zurückgelegt werden. Stellt man daher ein Fernrohr, welches sich um eine horizontale Axe drehen kann, so, daß ein in der Axe des Rohres vertical gespannter, sehr feiner Faden in einer Ebene liegt, welche die Bahn eines Circumpolarsternes in zwei Theile theilt, die in gleichen Zeiten zurückgelegt werden; so bewegt sich dieses Fernrohr im Meridiane und dieser ist daher seiner Lage nach bekannt, wenn man es dahin gebracht hat, ein Fernrohr so zu stellen. Ein Fernrohr, wie das genannte, heißt ein **Mittagsrohr** oder **Passageinstrument**, und spielt in der practischen Astronomie eine große Rolle. Im Gesichtsfelde dieses Fernrohres sind mehrere sehr feine Fäden von Spinnen oder von Platin ausgespannt, wovon einer horizontal steht, während die übrigen eine verticale Lage haben. Einer von diesen befindet sich genau in der Ebene des Meridians, die anderen sind in gleichen Abständen von diesem zu beiden Seiten angebracht. Mittelst eines eingetheilten Kreisbogens kann man auch den Winkel bestimmen, den die Axe des Rohrs mit dem Horizonte macht. In der Mittagsebene liegt natürlich die Weltaxe, und ist daher in ihr durch den Winkel gegeben, den sie mit dem Horizonte macht, und den man **Polhöhe** nennt. Er ist gleich der halben Summe aus der größten und kleinsten Höhe eines Circumpolarsternes. In Fig. 377 ist PCh die Polhöhe und wird durch den Meridianbogen Ph gemessen, ferner Fh die größte, fh die kleinste Höhe eines dem Pole P nahen Sternes. Aber $Pf = \frac{Ff}{2}$, und daher $Ph = Pf + fh = \frac{Ff}{2} + fh = \frac{Ff + 2fh}{2} = \frac{Fh + fh}{2}$. Ist einmal die Polhöhe bekannt, so braucht man zur Bestimmung der Lage des Aequators nur den Winkel zu kennen, den dieser mit dem Horizonte macht. Er heißt die **Aequatorshöhe**, und ist das Complement der Polhöhe. In Fig. 377 stellt ACH diesen Winkel vor, für welchen man hat: $ACH = hCa = PCa - PCh = 90^\circ - PCh$. Es ist demnach der Aequator und daher auch jeder darauf senkrechte Kreis durch das Vorausgegangene bestimmt. Die Bestimmung einer horizontalen und einer verticalen Ebene ist für sich klar, und von der Bestimmung der Ekliptik wird in der Folge die Rede seyn.

14. Ein Punct am Himmel ist bestimmt, wenn man seinen Abstand von zwei der vorhergehenden zusammengehörigen Ebenen (Kreisen) kennt. Es ist aber dieser Abstand nicht als gerade Linie, sondern als Kreisbogen zu verstehen. Weil nun von den zwei Kreisen, durch die man nach dem Vorhergehenden einen Punct bestimmen kann, einer auf dem anderen senkrecht steht; so wird stets der Abstand eines Punktes von einem dieser Kreise durch einen Bogen des anderen gemessen werden. Der Abstand eines Punctes vom Aequator heißt seine **Abweichung**, der Abstand vom ersten Abweichungskreise seine **gerade**

Aufsteigung. Die Abweichung ist nördlich oder südlich, je nachdem sich der fragliche Punct in der nördlichen oder südlichen Halbkugel befindet. Der Abstand eines Punctes vom Horizonte heißt dessen Höhe, der Abstand vom Höhenkreise, welcher durch den Südpunct geht, sein Azimuth. Der Abstand von der Ekliptik heißt die Breite, der Abstand vom Breitenkreise, der durch den Frühlingsnachtgleichepunct geht, seine Länge. Man kann jede dieser Größen durch Beobachtung finden, aber auch aus zwei zusammengehörigen, z. B. aus der Höhe und dem Azimuth zwei andere, z. B. Länge und Breite berechnen. Am gewöhnlichsten werden Höhe und Azimuth, und Abweichung und gerade Aufsteigung durch Beobachtung ausgemittelt.

15. Die Abweichung findet man, wenn man die Mittagshöhe des fraglichen Punctes beobachtet, und davon die Aequatorshöhe abzieht. Ist z. B. B (Fig. 377) dieser Punct, so ist HB seine Mittagshöhe, HA die Aequatorshöhe und BH — AH = BH seine Abweichung. Um die gerade Aufsteigung x zu bestimmen, wird die Zeit t beobachtet, welche zwischen den Culminationen des Punctes, um den es sich handelt, und des Frühlingsnachtgleichepunctes vergeht, und dann so geschlossen: Da in 24 Stunden 360° des Aequators durch den Meridian des Beobachtungsortes gehen; so müssen in der Zeit t durch denselben x° gehen, und man hat $x = 15t$.

16. Höhe und Azimuth erfährt man am bequemsten mittelst eines Theodolithes. Dieser besteht aus zwei concentrischen, horizontalen Kreisen, wovon der innere auf zwei verticalen, gleich hohen Stützen ein kleines Mittagsrohr und einen verticalen Kreis trägt. Stellt man dieses Instrument so, daß der Nullpunct des horizontalen Kreises in den Meridian und zwar gegen Süden fällt, und der Nullpunct des verticalen mit der horizontalen Axe des Fernrohres in einerlei Höhe liegt; so schneidet bei jeder anderen Lage des Fernrohrs der Inder am horizontalen Kreise das Azimuth, der am verticalen die Höhe jenes Punctes ab, den man in der Mitte des Gesichtsfeldes des Fernrohrs sieht.

Drittes Kapitel.

Gestalt und Größe der Erde und ihre Axendrehung.

17. Es gibt viele Erscheinungen, die sich nicht anders erklären lassen, als wenn man annimmt, daß die Erde nach allen Seiten convex sey. Die vorzüglichsten dieser Erscheinungen sind folgende: Wenn man von West nach Ost reiset, so bemerkt man, daß die Sonne immer desto früher aufgeht, je weiter man kommt; ja auf einer solchen fortgesetzten Reise kommt man wieder an den Ort, von wo man ausging, zurück, ohne irgendwo umgekehrt zu seyn. Begibt man sich von Süden weiter nach Norden, so erhebt sich der Nordpol im Verhältniß zur Größe des zurückgelegten Weges, es werden immer mehrere

Sterne Circumpolarsterne, während am südlichen Himmel immer mehrere unter den Horizont zu stehen kommen und gar nicht mehr aufgehen. Vorzüglich gehört hierher die Art, wie sich entfernte Gegenstände zur See oder in großen Ebenen zeigen, wenn man sich ihnen nähert, und wenn man sich von ihnen entfernt. So z. B. erblickt man an einem fernen Schiffe, dem man sich nähert, zuerst nur den obersten Theil des Mastbaumes, und wenn sich ein Schiff entfernt, so verliert sich zuerst der unterste Theil aus dem Gesichtskreise.— Was es für eine Krümmung sey, die der Erde zukommt, ist durch alle diese Gründe noch nicht ausgemacht. Wie sie aber immer beschaffen seyn mag, so ist doch so viel gewiß, daß die Erde einer Kugel sehr nahe kommt, weil ihr Schatten bei Mondesfinsternissen immer kreisrund erscheint. Berge und Erhabenheiten, die sich auf ihrer Oberfläche befinden, können dieses nicht umstoßen, weil sie gegen die Größe der Erde ganz verschwinden, so, daß die höchste Gebirgskette der Erde ihr die Kugelform so wenig benimmt, als feiner Staub einem Globus von mehreren Schuhen im Durchmesser.

18. Die Erscheinungen der täglichen Bewegung lassen sich auf eine zweifache Art erklären. Entweder bewegen sich wirklich alle Fixsterne in 24 St. von Ost nach West um die Erde, oder es dreht sich die Erde in derselben Zeit von West nach Ost um ihre Axe. Der Sinn des Gesichtes kann hierin eben so wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er einen den Fluß abwärts Schiffenden belehren kann, ob das Schiff abwärts oder die am Ufer befindlichen Gegenstände aufwärts gehen. Es müssen daher andere Gründe für die Wirklichkeit einer oder der anderen Bewegung sprechen.

19. Schon der Umstand, daß die Umwälzung eines einzigen, verhältnißmäßig sehr kleinen Körpers die Erscheinungen eben so hervorbringt, wie die Bewegung von Millionen unendlichmal größerer Massen, muß die Axendrehung der Erde wahrscheinlich machen; aber noch mehr muß diese Wahrscheinlichkeit ans Licht treten, wenn man zugleich die Entfernung dieser Körper in Betrachtung zieht. Es ist gewiß, daß der nächste Fixstern wenigstens eine Entfernung von 23000 Millionen Erdhalbmessern hat. Geht er in 24 St. um die Erde, so muß er einen mehr als sechsmal größeren Weg beschreiben, und daher eine Geschwindigkeit haben, welche die des Lichtes 6000mal übertrifft. Nimmt man eine Axendrehung der Erde an, so darf jeder Punct des Aequators nur 5400 geogr. Meilen in 24 Stunden zurücklegen, wozu eine Geschwindigkeit hinreicht, die nur wenig größer als jene des Schalles ist. Zu diesem kommt noch, daß die Planeten auch eine Axendrehung haben, daß diese sogar bei der Sonne nicht fehlt. Warum soll gerade die Erde von diesem Gesetze ausgenommen seyn?

20. Die Wahrscheinlichkeit der Umdrehung der Erde wird durch die Betrachtung mechanischer Gründe zur völligen Gewißheit erhoben. Die kreisförmige Bewegung der Himmelskörper um die Erde könnte nur durch Centralkräfte hervorgebracht werden, deren Mittelpunct in der Erde liegen müßte. Was sollte aber das für eine Kraft

in der Erde seyn, die sich so weit erstreckte, und im Stande wäre, die ungeheuren Massen mit so großer Geschwindigkeit herumzutreiben? wie ließe es sich erklären, daß durch diese Kraft alle Körper, deren Entfernung von der Erde gewiß sehr verschieden ist, in derselben Zeit um sie herumgeführt würden, und ihre wahre Geschwindigkeit im Verhältnisse der Entfernung wüchse, mithin die bewegende Kraft größer seyn müßte, während alle anderen Kräfte desto schwächer werden, je weiter sich ihre Wirksamkeit erstreckt? wie wäre es möglich, daß gerade die Körper, welche im Aequator stehen, so große Kreise beschreiben, und daß diese Kreise gegen die Pole zu immer kleiner werden.

21. Wird die Bewegung der Erde als wirklich angenommen, so muß sie sich auch auf die Atmosphäre erstrecken. Die oberen Theile derselben müssen sich schneller bewegen, als die unteren, und daher bewirken, daß ein frei fallender Körper etwas gegen Osten von der verticalen Linie abweicht. Auch davon überzeugt man sich durch die Erfahrung, wie vorzüglich Reich's neueste Versuche beweisen. Aus allem diesen sieht man, daß man für die Axendrehung der Erde so viele Beweise hat, daß nur jene noch daran zweifeln können, die überhaupt nicht zu überzeugen sind.

22. Diesen Gründen gemäß beschreibt jeder Punct der Erde einen Kreis, und nur zwei in einer durch den Mittelpunct der Erde gehenden, geraden Linie liegende Puncte sind von dieser Bewegung ausgenommen. Diese Puncte sind die Pole der Erde, und zwar der in der Nordhälfte liegende der Nordpol, der entgegengesetzte der Südpol. Obige gerade Linie heißt die Erdaxe. Die verlängerte Erdaxe stellt die Himmelsaxe vor. Demnach ist letztere durch erstere bestimmt. Die Kreise, welche einzelne Puncte der Erde bei ihrer Axendrehung beschreiben, sind mit einander parallel, und heißen daher mit Recht Parallelkreise der Erde. Der größte Parallelkreis ist der Aequator der Erde. Die Ebene des Erdäquators fällt in die des Himmelsäquators, und dieser wird, so wie die Weltaxe, durch die Lage der Erdaxe bestimmt. Man kann nun, dieses Zusammenhanges wegen, die bekannte Lage der genannten Linien und Ebenen am Himmel dazu benützen, um die Lage eines Ortes auf der Erde zu bestimmen. So wie ein Punct am Himmel durch Abweichung und gerade Aufsteigung bestimmt wird, eben so ist ein Punct auf der Oberfläche der Erde durch seine Breite und Länge gegeben.

23. Die Breite eines Ortes wird gemessen durch den Bogen seines Meridians, der zwischen ihm und dem Aequator liegt. Sie heißt nördliche oder südliche Breite, je nachdem der Ort dem Nordpole oder dem Südpole näher liegt, und ist immer der Polhöhe des Ortes gleich. Es sey C (Fig. 378) der Mittelpunct der Erde, wovon ApbB einen durch die Pole gehenden Durchschnitt vorstellt, A ein Ort auf ihrer Oberfläche, AZ seine Verticale, AH sein scheinbarer Horizont, p einer der Erdpole, P der entsprechende Pol am Himmel, Bb der Aequator der Erde, mithin ACB die Breite von A. Wegen der gegen die Himmelssphäre verschwindenden Größe der Erde

kann man die Richtung AP', nach welcher P von A aus gesehen wird, mit CP parallel annehmen, und P'AH als die Polhöhe von A ansehen. Unter dieser Voraussetzung ist BCA = P'AH, weil die Seiten dieser Winkel auf einander senkrecht stehen.

Dieser Satz setzt uns in den Stand, die Lage der Parallelkreise der Himmelssphäre in jedem Orte von bekannter Polhöhe voraussagen und angeben zu können, daß diese unter dem Aequator auf dem Horizonte senkrecht stehen, unter dem Pole mit ihm parallel laufen, und daß diese Ebenen nur außer den Polen und außer dem Aequator eine schiefe Lage gegen den Horizont haben.

24. Die Länge eines Ortes ist der Winkel, den der Meridian dieses Ortes mit irgend einem bekannten, als ersten angenommenen Meridiane macht. Sie wird mithin durch den zwischen beiden Meridianen gelegenen Bogen des Aequators gemessen. Ptolomäus zog seinen ersten Meridian durch die canarischen Inseln, als die äußerste, westliche Grenze des damals bekannten Continents, und viele nehmen noch heut zu Tage den durch Ferro gezogenen Mittagskreis für den ersten an, aber meistens zieht jede Nation durch ihr vorzüglichstes Observatorium ihren Hauptmeridian. Je nachdem ein Ort östlich oder westlich vom ersten Meridiane liegt, hat er auch eine östliche oder eine westliche Länge. Es wäre sehr zu wünschen, daß alle Astronomen und Geographen denselben Meridian als ersten annähmen, oder doch einen solchen, der durch einen unveränderlichen, immer wieder bestimmbaren Punct der Erde geht. Fängt man in zwei Orten, deren Längenunterschied zu finden ist, die Zeit mit der Culmination desselben Sternes zu zählen an; so muß der Zeitunterschied t beider Orte, in demselben Augenblicke, nach der Proportion $24 : t = 360 : x$ die gesuchte Längendifferenz geben. Deßhalb dienen zur Bestimmung dieser Differenz vorzüglich Uhren, die sich ohne Störung ihres Ganges von einem Orte zum anderen tragen lassen, oder solche Phänomene, die in beiden Orten zugleich gesehen werden können, oder bei denen der Zeitunterschied ihres Erscheinens der Rechnung unterworfen werden kann, wie z. B. Feuersignale, der Anfang und das Ende einer Mondesfinsterniß oder einer Verfinsterung der Jupiterstrabanten, Sternbedeckungen durch den Mond, die Lage bekannter Sterne gegen den Mond 2c. Liegt einer der beiden Orte im ersten Meridiane: so ist hiedurch zugleich die absolute Länge des anderen gegeben. Dasselbe findet Statt, wenn die Länge des einen der beiden Oerter schon aus vorläufigen Beobachtungen bekannt ist. Man braucht daher nur die Länge eines Ortes unmittelbar nach dem ersten Meridiane zu bestimmen, die Längen der übrigen ergeben sich, indem man stets einen Ort mit einem schon früher bestimmten vergleicht.

25. Wiewohl die Bestimmung der geogr. Länge und Breite für das feste Land von der größten Wichtigkeit ist, weil man dadurch manches schon den Alten bekannte Land der Lage und Größe nach näher zu bestimmen vermochte, und vielen neu entdeckten Ländern ihren Ort auf der Erdoberfläche genau anwies; so hat sie doch für den Seefah-

rer noch größeren Vortheil, indem dieser dadurch in den Stand gesetzt wird, den Ort seines Schiffes in jedem Augenblicke anzugeben, die Sicherheit seines Weges und die Zweckmäßigkeit seiner Richtung zu beurtheilen. Leider sind zur See viele Mittel, die man auf dem festen Lande zur Bestimmung der Länge anwenden kann, fast ganz unanwendbar, wiewohl man sie da am meisten bedürfte, und man muß oft, wenn Wolken den Anblick der Gestirne, und hiemit alle Mittel, die der Himmel darbietet, rauben, aus der bloß oberflächlich geschätzten Geschwindigkeit und Richtung des Schiffes die Länge des Ortes beurtheilen, besonders wenn einem keine genaue Uhr zu Gebote steht, die allen Schwankungen des Schiffes und den zur See stark einwirkenden äußeren Einflüssen trotzt. (Siehe: kurze Geschichte der Bemühungen die Meereslänge zu finden, von Hassenkamp. Rinteln 1774. *Zach, de vera longitudine et latitudine. Erfurt* 1790.)

26. Durch Angabe der Länge und Breite wird man in den Stand gesetzt, auf einer Kugel, welche die Erde im verjüngten Maßstabe vorstellt, alle Ortschaften zu verzeichnen und Erdgloben zu verfertigen, wohl auch nach den Regeln der Projection Land- und Seekarten zu verzeichnen.

Die vorzüglichsten Projectionsarten für Landkarten sind folgende:

1. Die orthographische, welche entsteht, wenn man sich an einem Puncte der Erde B (Fig. 379) eine berührende Ebene BC denkt, und von den zu verzeichnenden Puncten der Erdoberfläche a, b, c die auf BC Senkrechten aa′, bb′, cc′, zieht. Ist der Berührungspunct ein Pol, so heißt diese Projection orthographische Polarprojection. Da sind alle Parallelkreise wieder Kreise in der Projectionsebene und alle Meridiane gerade Linien. 2. Die stereographische Projection. Bei dieser denkt man sich das Auge O (Fig. 380) in einem Puncte der Kugeloberfläche, welcher dem zu entwerfenden Lande gegenübersteht, und zieht von diesem durch die Puncte der Erdoberfläche gerade Linien, bis sie die Projectionsebene treffen. Bei dieser Projectionsart erscheinen alle Kreise auf der Kugelfläche wieder als Kreise, und diese schneiden sich unter denselben Winkeln wie jene. 3. Die Kegelprojection. Diese braucht man zur Darstellung kleiner Theile der Erdoberfläche. Berührt z. B. der Kegel abc (Fig. 381) die Kugelfläche in der Zone bdce, so erhält man durch Abwicklung des Kegels auf einer Ebene die Parallelkreise de, bc als Kreisbögen von den Halbmessern da, ba, und die Meridiane werden gerade in a zusammenlaufende Linien. — Bei der Abbildung kleiner Stücke der Erde, die man als eben betrachten kann, zieht man die Parallelkreise und Meridiane als gerade, sich unter rechten Winkeln schneidende Linien so, daß sie Rechtecke bilden, oder wenn dieses nicht wohl angeht, so vermindert man die Grade der äußersten Parallelkreise im gehörigen Verhältnisse gegen die der Meridiane, und verbindet dann die Theilungspuncte durch gerade Linien, damit man Trapeze erhalte, welche von Rechtecken desto mehr abweichen, je größer der Breitenunterschied der äußersten Parallelkreise ist. — Seekarten werden am zweckmäßigsten nach einer Projection entworfen, vermöge welcher die Meridiane und Parallelkreise Rechtecke mit einander machen, so daß die Grade der Parallelkreise einander gleich bleiben, aber die der Meridiane in demselben Verhältnisse wachsen, in welchem die Grade der Parallelkreise der Kugeloberfläche abnehmen. Man nennt sie Mer-

cators oder reducirte Karten. Sie gewähren den Vortheil, daß die Richtungen der Winde mit allen Meridianen der Karte gleiche Winkel und gerade Linien machen, während sie auf der Kugel krumme Linien, sogenannte Loxodromien bilden. (Mehr hierüber liefert; Mayer's gründlicher und ausführlicher Unterricht zur practischen Geometrie. Erlangen 1815. 4. Th. Kapitel 3—7. Littrow's theoretische und practische Astronomie. Wien 1821. 2. B. S. 336.)

27. Aus der durch obige Gründe bewiesenen Bewegung der Erde läßt sich schon schließen, daß sie keine sphärische Gestalt haben könne, sondern an den Polen etwas abgeplattet seyn müsse, wenn sie sich ja einmal in einem Zustande befunden hat, wo die Theile dem Zuge der Schwere ungehindert folgen konnten; denn die aus ihrer Axendrehung entstandene Fliehkraft mußte die Schwere am Aequator am meisten vermindern, und daselbst eine Protuberanz, an den Polen hingegen eine Abplattung hervorbringen. Auch der Umstand, daß der größere Theil der Erdfläche mit Wasser bedeckt ist, und dieses den bewegenden Kräften leicht folgt, läßt auf das Vorhandenseyn der abgeplatteten Gestalt der Erde schließen. Man ist sogar im Stande, die Größe der Abplattung der Erde bloß aus der bei ihrer Axendrehung entstehenden Fliehkraft oder aus der Wirkung, die der Mond auf die Erde wegen ihrer Abplattung ausübt, zu berechnen. Sie läßt sich aber auch durch Messungen der Meridiangrade in verschiedenen Breiten und durch Beobachtung der Pendellänge an verschiedenen Orten finden. Zum Behufe der Gradmessungen wird zuerst der Unterschied der Polhöhe zweier Oerter bestimmt. Da dieser die Größe des dazwischen gelegenen Bogens des Meridians in Graden angibt; so kann man, wenn er geometrisch nach Klaftern bestimmt ist, hieraus auf die Größe eines Grades schließen. Diese Messungen, auf solche Art vorgenommen, zeigen bald, daß die Meridiangrade in verschiedenen Breiten eine verschiedene Größe haben und mit der Breite zunehmen, mithin daß die Erde an den Polen abgeplattet sey. Nimmt man nun an, die Erde sey ein durch Umdrehung einer Ellipse entstandenes Sphäroid, so reicht die Länge zweier Meridiangrade hin, den Unterschied zwischen der großen und kleinen Axe der Ellipse, d. i. die Differenz zwischen der Axe des Aequators und jener des Meridians an den Polen der Erde zu bestimmen. Man nennt diesen Unterschied, in Theilen der durch die Pole gehenden Axe ausgedrückt, die Größe der Abplattung oder die Elliptikität der Erde. Um die Abplattung der Erde aus Pendelbeobachtungen abzuleiten, muß man die Länge des Secundenpendels an Orten von sehr verschiedener Breite bestimmen, von dieser das Verhältniß der Schwere in diesen Stationen ableiten, und aus diesem Verhältnisse auf das der Entfernung der Stationen vom Centrum der Erde schließen. Wenn man die Resultate der Berechnung der Abplattung aus der Fliehkraft, aus Gradmessungen und Pendelbeobachtungen mit einander vergleicht; so findet man leider ziemlich große Differenzen, wie sich dieses bei einer so schwierigen Untersuchung, wo man immer vom Kleinen aufs Große schließen muß, und bei dem Umstande, daß die Gestalt der Erde wahrscheinlich nicht einmal ganz

symmetrisch ist, kaum anders erwarten ließ. In der neuesten Zeit sind die bei den älteren und neuesten Gradrechnungen gewonnenen Daten von Bessel sehr genau in Rechnung genommen worden, und haben folgende Resultate gegeben, die darum auch als der Wahrheit zunächst stehend angesehen werden können:

Halbmesser des Aequators . . . 3271953,854 Toisen.
" " " Poles . . . . 3261072,900 "

Verhältniß beider 300,7047 : 299,7047, mithin die Abplattung in runder Zahl $\frac{1}{300}$. Der fünfzehnte Theil eines Aequatorgrades, den man eine geographische Meile zu nennen pflegt, hat daher 3807,091 Toisen = 22842,55 P. Fuß.

28. Wiewohl die Größe der Erde gegen die Himmelssphäre verschwindet, und daher der scheinbare Ort eines Punctes dieser Sphäre von dem Standpuncte des Beobachters auf der Erde ganz unabhängig ist; so ist doch ein Erdhalbmesser nicht auch gegen die Entfernung der Planeten, des Mondes und der Sonne verschwindend klein, und es hängt der scheinbare Ort dieser Körper am Himmelsgewölbe von dem Standpuncte des Beobachters auf der Erde ab. Stellt AB (Fig. 382) einen Durchschnitt der Erde vor, welcher durch zwei Beobachtungsorte A und B geht, abc den Durchschnitt der Himmelssphäre, an welcher uns die Himmelskörper erscheinen; so wird ein Stern S von A aus gesehen in s′, von B aus gesehen in s erscheinen. Der Winkel ASB, den die Gesichtslinien AS und BS in S machen, heißt die Parallaxe des Sternes. Um richtige und übereinstimmende Resultate über die relative Lage der Himmelskörper zu erhalten, reducirt man alle, gegen deren Entfernung die Größe der Erde nicht verschwindet, auf den Ort, wo sie vom Mittelpuncte der Erde aus erscheinen. Ist C (Fig. 382) der Mittelpunct der Erde und eines Durchschnittes derselben, welcher in einer durch den Stern S′ und den Beobachtungsort A gehenden Verticalebene liegt; so erscheint S′ von C aus gesehen im Puncte s″ der Himmelssphäre; mithin muß die scheinbare Höhe des Sternes um die Parallaxe AS′C vermehrt werden, damit man seine wahre Höhe finde. Daß diese Parallaxe immer kleiner werde, je mehr sich S′ dem Scheitelpuncte nähert, und daß sie im Zenith selbst verschwinde, ist klar. Aehnliche Correctionen müssen auch an der Abweichung und geraden Aufsteigung eines solchen Gestirnes angebracht werden, um sie vom Einflusse des Standortes auf der Erde zu befreien.

Man hat verschiedene Methoden, die Parallaxe eines Sternes zu finden, die desto mehr Genauigkeit gewähren, je näher der Körper der Erde steht. Um aber die Parallaxe vom Einflusse der Höhe des Gestirnes, bei dem sie gefunden wurde, zu befreien, muß man sie auf jene reduciren, welche der Himmelskörper im Horizonte hat. Ist ASC = h die Horizontalparallaxe des Sternes S, AS′C = a die Höhenparallaxe desselben Sternes S′, AC = r der Erdhalbmesser; so hat man: $r : SC = \sin h : 1$; $r : S'C = \sin a : \cos SAS'$, mithin, weil $SC = S'C$ ist,

$$\sin h : 1 = \sin a : \cos SAS' \text{ und } \sin h = \frac{\sin a}{\cos SAS'}.$$

Die Parallaxe eines Gestirnes S dient oft zur Bestimmung seiner Entfernung vom Mittelpuncte der Erde und seiner Größe. Denn im Dreiecke ASC ist $r : SC = \sin h : 1$, und daher

$$SC = \frac{r}{\sin h}.$$

Denkt man sich einen Beobachter in S, so erscheint ihm der Halbmesser der Erde AC unter dem Winkel $ASC = h$. Bestimmt man nun den scheinbaren Halbmesser ρ des Gestirnes von der Erde aus gesehen, so muß er sich zu seiner Horizontalparallaxe h verhalten, wie der wahre Halbmesser des Gestirns R zum Halbmesser der Erde r, oder es ist $\rho : h = R : r$, und daher $R = \frac{\rho}{h} r$ und für $r = 1$ wird $R = \frac{\rho}{h}$.

Ueber dieses Kapitel siehe: Anleitung zur allgemeinen Kenntniß der Erdkugel von Bode. Berlin 1820. Lehrbuch der mathematischen Geographie von Fries. Leipzig 1814. Allgemeine mathematische Erdbeschreibung von Hochstetter. Stuttgart 1820. *La figure de la terre par M. Bouguer, et de la Condamine. Paris* 1787—1788. Lehrbuch der math. und physischen Geographie von Schmidt. Göttingen 1829. Handbuch der mathemat. und physischen Geographie von Muncke. Heidelberg 1830. (Als zweiter Theil seines Handbuches der Naturlehre.)

Viertes Kapitel.

Scheinbare Bewegung der Sonne und jährliche Bewegung der Erde.

29. Schon der Umstand, daß den nächtlichen Himmel immer andere Sterne schmücken, und daß erst nach einem Jahre wieder dieselben zum Vorscheine kommen, zeigt, daß der Sonne nebst der täglichen Bewegung, die sie mit dem ganzen Himmel gemein hat, auch noch eine eigene zukommen müsse; allein noch mehr überzeugt man sich davon und zugleich von der Richtung dieser Bewegung, wenn man einen Fixstern mit der Sonne einige Zeit hindurch vergleicht. Geht man von dem Tage aus, wo ein solcher Fixstern mit der Sonne zugleich aufgeht, so wird man bald bemerken, daß ersterer schon nach einigen Tagen der Sonne gleichsam voraus eile, nach ungefähr drei Monaten schon culminire, wenn diese aufgeht, nach einem halben Jahre bei Sonnenaufgang untergehe, und daß erst nach einem ganzen Jahre der Aufgang beider wieder in dieselbe Zeit falle. Die jährliche Bewegung der Sonne ist daher der täglichen entgegengesetzt.

30. Man hat mit großer Genauigkeit die Lage der Sonnenbahn an der Himmelssphäre kennen gelernt, indem man aus der Beobachtung der Mittagshöhe der Sonne auf ihre Bewegung in der Richtung des Meridians und aus dem Zeitunterschiede zwischen ihrer Culmination und der eines Fixsternes auf ihre Bewegung in der Richtung der Parallelkreise schloß; denn die Resultirende beider Bewegungen gibt

die Lage der Sonnenbahn. Dadurch fand man, daß diese Bahn in einer Ebene liege, die den Aequator schneidet, und gegen ihn unter einem Winkel von nahe 23° 28′, mithin gegen die Erdaxe unter einem Winkel von nahe 66° 32′ geneigt sey. Der Durchschnitt dieser Ebene mit der Himmelssphäre gibt einen Kreis am Himmel, der schon früher (11) unter dem Namen Ekliptik vorkam, und dessen Neigung gegen den Aequator die Schiefe der Ekliptik genannt wird. Die Puncte, wo die Ekliptik den Aequator schneidet, sind schon vorhin Aequinoctialpuncte genannt worden. Der nördlichste und südlichste Punct der Ekliptik heißen Solstitialpuncte, und zwar jener Sommersolstitialpunct, dieser Wintersolstitialpunct; die durch sie gehenden Parallelkreise führen den Namen Wendekreise. Die Parallelkreise, in welchen die Pole der Ekliptik liegen, nennt man Polarkreise. Die Meridiane, welche durch die Solstitial- und Aequinoctialpuncte gehen, heißen Coluren. Schon in den ältesten Zeiten hat man die Ekliptik in zwölf gleiche Theile oder Zeichen getheilt, wovon also jedes 30 Grade enthält. Sie haben von den benachbarten Sternbildern die Namen: Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische, und führen der Ordnung nach die Zeichen:

♈, ♉, ♊, ♋, ♌, ♍, ♎, ♏, ♐, ♑, ♒, ♓.

31. Wenn man die Zeit, welche die Sonne braucht, um vom Frühlingsäquinoctialpuncte zum Herbstäquinoctialpuncte zu kommen, mit der vergleicht, in welcher sie von diesem Puncte zu jenem gelangt; so findet man, daß sie zu ersterem Wege fast um 8 Tage mehr braucht als zu letzterem. Es ist daher die Bewegung der Sonne in ihrer Bahn keine gleichförmige. Genaue Beobachtungen haben kennen gelehrt, daß die Geschwindigkeit der Sonne in einem Puncte ihrer Bahn am größten sey, der sich in der Nähe des Wintersolstitialpunctes befindet, daß sie von da an immer kleiner, in einem dem Sommersolstitium nahen Puncte am kleinsten werde, und von hier aus gegen ersteren wieder wachse. Mit der größten Geschwindigkeit beschreibt sie täglich einen Bogen von 1°,0104, mit der kleinsten einen Bogen von 0°,9534, und ihrer mittleren Geschwindigkeit entspricht ein Bogen von 0°,9856. Diese Aenderungen der Geschwindigkeiten könnten auch scheinbar seyn, und durch eine Aenderung der Entfernung hervorgebracht werden; denn derselbe Bogen erscheint kleiner oder größer, je nachdem er mehr oder weniger vom Beobachter entfernt ist. Wirklich zeigen Beobachtungen, daß die Sonne gerade da, wo ihre Geschwindigkeit zunimmt, der Erde näher komme, und daß ihre Entfernung von der Erde wachse, wenn ihre Geschwindigkeit im Abnehmen begriffen ist; denn ihr scheinbarer Durchmesser, der mit ihrer Entfernung im verkehrten Verhältnisse steht, nimmt in jenem Falle zu, in diesem ab. Allein wenn die Veränderungen der Geschwindigkeit der Sonne bloß von ihrer Entfernung abhingen, und an und für sich ihre Geschwindigkeit beständig wäre; so müßte sich ihr scheinbarer Durchmesser ge-

rade in demselben Verhältnisse vermindern, in welchem ihre Geschwindigkeit kleiner wird. Dieser nimmt aber in einem zweimal größeren Verhältnisse ab, als ihre Geschwindigkeit, und es muß daher die Geschwindigkeit der Sonne wirklich kleiner werden, indem sie sich von uns entfernt und umgekehrt. Der Erfahrung gemäß ist das Product des in einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens in das Quadrat ihrer Entfernung eine beständige Größe.

32. Wenn durch Beobachtungen des scheinbaren Durchmessers der Sonne die Veränderungen der Entfernung (des Radius Vectors) und durch die Größe des in einem Tage zurückgelegten Bogens in ihrer Bahn die Lage des Mittelpunctes der Sonne Tag für Tag gegeben ist; so kann man auch Tag für Tag die Lage und Länge des Radius Vectors verzeichnen, und durch die Endpuncte eine krumme Linie ziehen, welche die Sonnenbahn vorstellen wird. So überzeugt man sich, daß diese Bahn eine Ellipse ist, in deren einem Brennpuncte sich die Erde zu befinden scheint. Die Excentricität dieser Ellipse ist sehr gering, denn die große Axe derselben beträgt 1,03416, wenn man die kleine = 1 setzt. Den Punct der Sonnenbahn, der die größte Entfernung von der Erde hat, nennt man ihr Apogäum; denjenigen, dessen Entfernung von der Erde am kleinsten ist, Perigäum. Die gerade Linie, welche beide Puncte verbindet, oder die große Axe der Ellipse, heißt Absidenlinie.

33. Die Erscheinungen der jährlichen Bewegung der Sonne lassen sich sowohl aus einer wirklichen Bewegung der Sonne um die Erde, als aus einer Bewegung der Erde um die Sonne erklären. Der bloße Augenschein kann hier so wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er es bei der täglichen Bewegung zu thun vermochte; es müssen daher andere Gründe für die eine oder die andere dieser Bewegungen sprechen. Diese fallen aber alle zu Gunsten der Bewegung der Erde um die Sonne aus, wie Folgendes zeigt: Es mag die Bewegung der Sonne oder der Erde als wirklich angenommen werden, so muß sie durch Centralkräfte bewirkt werden, weil nur dadurch die bei der krummlinigen Bewegung entstandene Fliehkraft aufgehoben werden kann, und weil die beschriebenen Sectoren ihren Zeiten proportionirt sind. Allein die Folge wird zeigen, daß die Sonne ein viel größerer Körper sey, als die Erde. Wie kann daher die Erde eine Centralkraft besitzen, welche die Sonne in ihrer Bahn erhält? um wie viel natürlicher ist es, der Sonne diese Kraft anzuweisen, und so den kleineren Körper um den größeren sich bewegen zu lassen. Die Gründe, welche etwa ein Erdbewohner für die Bewegung der Sonne um die Erde haben dürfte, hat auch ein Bewohner jedes anderen Planeten für die Bewegung der Sonne um diesen Planeten, weil wir an jedem derselben eine jährliche Bewegung wahrnehmen. Allein, abgesehen von der Schwierigkeit, welche die beobachtete Ungleichheit der Umlaufszeiten der Sonne um jeden einzelnen Planeten mit sich führen würde; so geriethe man in directen Widerspruch mit den unumstößlichen Gesetzen der Bewegung, während alles im besten Einklange

mit diesen Gesetzen ist, wenn man eine Bewegung der Erde um die Sonne annimmt.

Fünftes Kapitel.

Ergebnisse aus der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde.

34. Aus der im Vorhergehenden bewiesenen zweifachen Bewegung der Erde und aus den Aenderungen der Elemente ihrer Bahn, lassen sich alle Phänomene, welche die relative Lage der Erde überhaupt, und die jedes Punctes derselben gegen die Sonne betreffen, vollkommen begreifen. Vermöge dieser Bewegungen beschreibt jeder Punct der Erde in einer gegebenen Zeit eine Bahn, welche die Resultirende der Wege ist, die er durch jede einzelne Bewegung für sich zurücklegen würde, und die daher für jeden einzelnen Fall leicht zu finden ist, wenn man nur jede einzelne Bewegung genau kennt.

35. Von der Axendrehung der Erde hängt der Wechsel von Tag und Nacht, so wie überhaupt der Auf- und Untergang der Gestirne ab. Denkt man sich einen Halbmesser der Erde durch einen Punct A der Erdoberfläche außer der Erdaxe bis zur Himmelssphäre verlängert, so trifft er wegen der täglichen Bewegung der Erde immer andere Puncte. Befindet sich nun in dem Puncte der Himmelssphäre, welchen er trifft, ein Fixstern; so wird dieser dem Erdbewohner, der seine eigene Bewegung von West nach Ost nicht gewahr wird, einen Kreis am Himmel zu beschreiben scheinen, der desto größer ist, je näher der Winkel, den der Radius von A mit der Erdaxe macht, einem rechten kommt. Ist dieser Winkel $= 0$, oder liegt A in einem Pole, so wird der Punct am Himmel zu ruhen scheinen, und also ein Pol der Himmelssphäre seyn; beträgt jener Winkel $90°$, so wird seine Bahn am größten, sie liegt im Himmelsäquator. Die Umlaufszeit eines Fixsternes ist demnach zugleich die der Umdrehung der Erde um ihre Axe. Man nennt sie einen S t e r n t a g und theilt sie in 24 gleiche Theile, S t e r n s t u n d e n ab. Jeder Punct des Aequators beschreibt in einem solchen Tage 5400 Meilen, mithin in einer Secunde 1428 Par. F. In Puncten außer dem Aequator ist diese Bewegung langsamer, und zwar nach Verhältniß des Cosinus ihrer Breite.

36. Vermöge der jährlichen Bewegung der Erde haben alle ihre Theile eine gleiche Geschwindigkeit und legen im Durchschnitte in einem Tage einen Weg von 346836 Meilen, mithin in einer Secunde nahe 4 M. zurück. Diese Bewegung ist der täglichen der Richtung nach entgegengesetzt, und daher kommt es, daß die Zeit, in welcher die Sonne einen Umlauf um die Erde zu machen scheint, größer ausfällt als die, in welcher ein Fixstern dasselbe thut. Man nennt die Zeit eines scheinbaren täglichen Sonnenumlaufes S o n n e n t a g und seinen 24sten Theil eine S o n n e n s t u n d e. Wegen der Ungleichförmig-

keit der jährlichen Bewegung der Erde ist der Sonnentag nicht immer gleich lang. Weil dieses den Geschäften des bürgerlichen Lebens, die man stets nach Sonnenzeit regulirt, nicht günstig ist; so nimmt man eine Sonne an, welche ihre jährliche scheinbare Bahn in derselben Zeit zurücklegt, wie die wahre, allein mit stets gleicher Geschwindigkeit und parallel mit dem Aequator. Man nennt sie die mittlere Sonne, die Zeit ihres Umlaufes mittleren Sonnentag, ihren 24sten Theil mittlere Sonnenstunde u. s. f. Der Unterschied zwischen der wahren und mittleren Sonnenzeit heißt Zeitgleichung. Es liegt in der Natur der jährlichen Bewegung der Erde, daß die wahre Zeit bald der mittleren voreilt, bald hinter ihr zurückbleibt. Am meisten voraus ist sie Anfangs November, am meisten zurück in der Mitte Februar und zwar ersteres um 16′ 16″, letzteres um 14′ 34″. Viermal des Jahres fallen die mittlere und wahre Zeit zusammen, oder die Zeitgleichung ist = 0. Ein Sterntag hat 23 St. 56 M. 4,1 S. nach mittlerer Sonnenzeit. Unsere Uhren zeigen in der Regel mittlere Sonnenzeit, nur die Astronomen lassen ihre Uhren oft nach Sternzeit gehen. Eine Sonnenuhr zeigt wahre Sonnenzeit, und kann daher mit einer mechanischen Uhr nicht immer harmoniren.

37. Von der jährlichen Bewegung der Erde hängt die Dauer des Jahres ab. So heißt nämlich die Zeit, innerhalb welcher die Erde wieder zum Frühlingsäquinoctialpuncte zurückkehrt, und zwar nennt man dieses insbesondere tropisches Jahr, zum Unterschiede vom siderischen. Letzteres hat 365 T. 6 St. 9 M. 10,7496 Sec. und kann als unveränderlich angesehen werden; ersteres umfaßte im Jahre 1841 365 T. 5 St. 48 M. 47,565 Sec. = 365 T. 5,8132125 St. Es wird in einem Jahrhundert um 0″,595 kürzer. Im bürgerlichen Leben rechnet man das Jahr zu 365 Tagen, nur jedes vierte Jahr bekommt 366 Tage und heißt Schaltjahr; der eingeschaltete Tag ist der 23. Februar. Diese Zeitrechnung wurde von Julius Cäsar 46 J. vor Christi Geburt eingeführt, und heißt deßhalb Julianische Zeitrechnung. Allein da hierbei das Jahr zu 365 T. 6 St. gerechnet ward, beging man jährlich einen Fehler von 0,1867875 St., der schon nach 128 Jahren einen Tag ausmachte. Zur Zeit der Nicäa'schen Kirchenversammlung 325 n. Ch. hatte er 3 Tage erreicht, und man sah sich gezwungen diese 3 Tage auszulassen; allein im Jahre 1582 erreichte er abermals 10 Tage und es fiel die Frühlingsnachtgleiche, welche nach J. Cäsar auf den 21. März fallen sollte, auf den 11. dieses Monats. Dieses bewog den damaligen Pabst Gregor XIII. abermals zehn Tage wegzulassen, und anzuordnen, daß für die Zukunft alle 400 Jahre drei Schalttage vernachläßiget werden. Deßhalb waren schon 1700, 1800 gemeine Jahre, wiewohl sie der Regel nach Schaltjahre hätten seyn sollen; auch wird 1900 wieder ein gemeines Jahr seyn. Indeß wäre dadurch nicht aller künftigen Verwirrung vorgebeugt, weil man in 400 Jahren doch noch einen Fehler begeht, wenn nicht zugleich dafür durch besondere Anordnungen gesorgt wäre.

Da nebst der von der Natur gegebenen Zeiteintheilung in Tage auch noch die in Wochen von 7 Tagen besteht, so bekommt jedes gemeine Jahr $\frac{365}{7}$ = 52 Wochen 1 Tag, und jedes Schaltjahr $\frac{366}{7}$ = 52 Wochen 2 Tage. Ein gemeines Jahr endiget mit demselben Wochentage, mit welchem es anfing, und der Anfang des nächsten gemeinen Jahres fällt auf den folgenden Wochentag. Bezeichnet man die ersten 7 Tage des Monats Jänner mit den Buchstaben A, B, C, D, E, F, G und die folgenden wieder nach derselben Ordnung mit A angefangen; so muß der letzte Tag eines gemeinen Jahres A seyn, wenn der erste A ist. Der Buchstabe, welcher auf den ersten Sonntag fällt, heißt Sonntagsbuchstabe. Dem Gesagten zu Folge rückt der Sonntagsbuchstabe in verkehrter Ordnung von G nach A jährlich um eine Stelle weiter, nur in einem Schaltjahre geschieht dieses um zwei Stellen. Auch bekommt das Schaltjahr zwei Sonntagsbuchstaben, einen vor und einen nach dem Schalttage. Gäbe es keine Schaltjahre, so würde derselbe Sonntagsbuchstabe alle sieben Jahre zurückkehren; ist aber jedes vierte Jahr ein Schaltjahr, so geschieht dieses erst nach $4 \times 7 = 28$ Jahren. Diese Periode von 28 Jahren heißt Sonnenzirkel. Denselben Namen führt auch die Zahl, welche anzeigt, das wievielte dieser Periode ein gegebenes Jahr sey. (Littrow's Kalendariographie. Wien 1828.)

38. Von besonders großem Einflusse ist die Neigung der Erdbahn gegen ihre Rotationsaxe; denn davon hängt die verschiedene Neigung der auf die Erde einfallenden Sonnenstrahlen ab, welche mit ihrer erwärmenden Kraft in Verbindung stehen, so wie die Dauer ihrer Einwirkung. Wäre die Erdaxe senkrecht auf der Ekliptik, so würden die Strahlen der Sonne zu Mittag in demselben Orte das ganze Jahr hindurch unter demselben Winkel einfallen, und daher bei übrigens gleichen Umständen auch täglich nahe dieselbe Erwärmung hervorbringen; allein bei der Einrichtung der Dinge, wo die Erdaxe unter 66° 32′ gegen die jährliche Bahn geneigt ist, ändert sich dieser Winkel täglich. Es sey z. B. S die Sonne (Fig. 383), E ein Durchschnitt der Erde in einer Lage gegen die Sonne, E′ derselbe in derjenigen Lage, welche die Erde nach einem halben Jahre einnimmt, Pp die Erdaxe, Aa der Erdäquator, M ein Punct der Erde, welcher zu Mittag die Sonne im Scheitel hat, o und o′ ein anderer, auf den die Mittagsstrahlen schief auffallen, oz und o′z′ seine Scheitellinie. Man sieht da deutlich, daß der Einfallswinkel in der Lage E gleich Soz, in der Lage E′ aber So′z′ und offenbar ersterer Winkel kleiner als letzterer ist. Im astronomischen Sinne heißt für einen in der nördlichen Halbkugel der Erde gelegenen Ort die Zeit, während welcher die nördliche Abweichung der Sonne wächst, Frühling; diejenige, während welcher sie abnimmt, Sommer; diejenige, während welcher die südliche Abweichung wächst, Herbst, und endlich jene, während welcher diese abnimmt, Winter. Während in der nördlichen Halbkugel Sommer ist, herrscht in der südlichen Winter; während des Herbstes der nördlichen Hemisphäre hat die südliche Frühling und umgekehrt. Diese Jahreszeiten sind nicht von gleicher Dauer, weil auch die jährliche Bewegung der Erde nicht gleichförmig ist. Jetzt dauert bei uns der Frühling 92 T. 22 St., der Sommer 93 T. 14 St., der

Herbst 89 T. 17 St., und der Winter 89 T. 1 St. In der Neigung der Erdaxe gegen die Erdbahn liegt auch der Hauptgrund, warum die Sonne nicht das ganze Jahr hindurch gleich lang über dem Horizonte verweilt, oder wie man zu sagen pflegt, warum es nicht gleich lang Tag ist. Ist z. B. C (Fig. 384) ein Punct der Erde, der die Polhöhe PCH hat, mithin Hh sein Horizont, Pp die Weltaxe, Aa der Aequator, Bb, Dd, Gg, Kk Parallelkreise, welche in q, r, s, t vom Horizonte geschnitten werden; so stellen AC, Bq, Dr, Gs, Kt die Theile der Parallelkreise vor, welche über dem Horizonte liegen, hingegen Ca, qb, rd, sg, tk diejenigen, welche sich unter demselben befinden. Betrachtet man nun die scheinbare Bewegung der Sonne während eines täglichen Umlaufes als gleichförmig; so geben solche zwei Stücke des Parallelkreises der Sonne das Verhältniß zwischen der Dauer von Tag und Nacht für diese Zeit an. Hieraus sieht man, daß Tag und Nacht gleich sind, wenn sich die Sonne im Aequator befindet, daß der Tag länger ist als die Nacht, wenn die Sonne gegen P abweicht, und zwar desto mehr, je größer diese Abweichung wird, und daß das umgekehrte Verhältniß Statt findet, wenn die Sonne gegen p abweicht. Wenn PCH größer wird, so schneidet auch Hh die Parallelkreise in noch ungleichere Stücke; daher muß in derselben Zeit die Differenz zwischen Tag und Nacht desto größer seyn, je größer die Polhöhe eines Ortes ist. Deßhalb ist in Ländern, deren Breite oder Polhöhe = o ist, das ganze Jahr Tag und Nacht gleich, und aus dieser Ursache dauert der längste Tag in Oertern von großer Polhöhe mehrere Wochen, ja Monate, bis bei einer Polhöhe von 90° das ganze Jahr nur in einen Tag und eine Nacht zerfällt.

Folgendes Verzeichniß gibt die Dauer des längsten Tages für Länder von gegebener Polhöhe.

Polhöhe.				Dauer des längsten Tages.				Polhöhe.				Dauer des längsten Tages.			
8	Grad	34	M.	12	St.	30	M.	63	Grad	23	M.	20	St.	—	M.
16	»	44	»	13	»	—	»	64	»	11	»	20	»	30	»
24	»	12	»	13	»	30	»	64	»	50	»	21	»	—	»
30	»	48	»	14	»	—	»	65	»	22	»	21	»	30	»
36	»	31	»	14	»	30	»	65	»	48	»	22	»	—	»
41	»	24	»	15	»	—	»	66	»	8	»	22	»	30	»
45	»	32	»	15	»	30	»	66	»	21	»	23	»	—	»
49	»	2	»	16	»	—	»	66	»	29	»	23	»	30	»
52	»	0	»	16	»	30	»	66	»	32	»	24	»	—	»
54	»	31	»	17	»	—	»	67	»	23	»			1	Monat.
56	»	38	»	17	»	30	»	69	»	50	»			2	»
58	»	27	»	18	»	—	»	73	»	39	»			3	»
60	»	0	»	18	»	30	»	78	»	31	»			4	»
61	»	19	»	19	»	—	»	84	»	5	»			5	»
62	»	26	»	19	»	30	»	90	»	0	»			6	»

39. Die Elemente der Erdbahn sind nicht unveränderlich, sondern alle bis auf die große Axe der Ellipse unterliegen kleinen Veränderungen. Genaue Beobachtungen haben gelehrt, daß sich die Lage

der Fixsterne gegen den Aequator alle Jahre ändere, während sie gegen die Ekliptik unverändert bleibt. Diese Veränderung rührt davon her, daß die Aequinoctialpuncte auf der Ekliptik jährlich um eine gewisse Größe von Ost nach West fortrücken, so, daß sie in 72 Jahren um 1° oder genauer jährlich um 50″,221 nach West zurück weichen, und in nahe 25,600 Jahren (platonisches Jahr) einen ganzen Umlauf machen. Es ist daher die Erdaxe nicht völlig unbeweglich, sie geht in 25,600 Jahren einmal um die Pole der Ekliptik herum. Man nennt diese Bewegung das Vorrücken der Nachtgleichen oder die Präcession. Aus derselben folgt, daß die Erde kürzere Zeit brauche, um wieder zur Nachtgleiche, als um wieder zu demselben Fixsterne zurückzukehren, oder daß die tropische Umlaufszeit kürzer sey, als die siderische oder wahre.

40. Als das Phänomen des Vorrückens der Nachtgleichen schon im Reinen war, bemerkte Bradley doch noch kleine periodische Ungleichheiten in der Neigung der Ekliptik gegen den Aequator und in der Präcession, die man erklärt, wenn man annimmt, daß sich die Erdpole nicht in einem Kreise bewegen, wie dieses das Vorrücken der Nachtgleichen allein für sich fordert, sondern daß dieses in einer kleinen Ellipse geschehe, deren Umfang in 18 Jahren zurückgelegt wird, welche Ellipse aber selbst ihren Mittelpunct im Umfange des Kreises hat, der vermöge der Präcession beschrieben wird. Diese Bewegung begreift man unter dem Namen der Nutation (Wanken der Axe).

41. Die Schiefe der Ekliptik erleidet zwar schon durch die Nutation eine kleine Veränderung, die alle 18 Jahre wieder von Neuem beginnt; allein selbst abgesehen von dieser Veränderung, unterliegt dieser Winkel einem periodischen Wachsen und Abnehmen. Nach La Place beträgt der ganze Umfang dieser Veränderung 6° 20′, und dazu braucht es mehrere tausend Jahre. Gegenwärtig ist die Schiefe = 23° 27′ 35″,8 und nimmt jährlich um 0″,4758 ab, bis sie den Werth von 21° erreicht, wo sie dann wieder zu wachsen anfängt.

42. Die Sonnenferne und Sonnennähe fallen nicht immer in dieselbe Stelle der Erdbahn, sondern sie rücken jährlich um 61″,47 in der Ekliptik vor, so daß die Erde mehr Zeit braucht, um wieder zur Sonnennähe, als um wieder zu einem Fixsterne zurückzukehren, und das sogenannte anomalistische Jahr länger ist als das siderische.

43. Vermöge der Präcession und Nutation ändert sich nur die Lage der Sterne gegen den Aequator und die Ekliptik, nicht aber gegen einander. Allein Bradley bemerkte an den Fixsternen auch noch eine kleine, periodische Aenderung ihrer Lage gegen einander. Um sich diese Bewegung vorzustellen, lasse man jeden Fixstern jährlich einen kleinen, mit der Ekliptik parallelen Kreis, dessen Centrum der mittlere Ort des Sternes ist, und dessen Durchmesser, von der Erde aus gesehen, ungefähr 20″ beträgt, eben so beschreiben, wie die Sonne sich in der Ekliptik bewegt, jedoch so, daß diese immer um 90° voraus ist. Dieser Kreis erscheint am Himmelsgewölbe als Ellipse von größerer oder

kleinerer Excentricität, je nachdem der Stern weniger oder mehr von der Ekliptik entfernt ist. In der Ekliptik selbst geht diese Ellipse in eine gerade Linie über. Dieses Phänomen führt den Namen Aberration. Daß es nicht durch eine den Sternen eigene Bewegung hervorgebracht werde, sondern in einer Bewegung außer den Gestirnen seinen Grund habe, läßt sich schon aus der allen Sternen gemeinschaftlichen Größe des Kreises vermuthen, der nur durch seine Projection auf die Himmelssphäre eine mehr oder weniger excentrische Ellipse erzeugt. Da überdieß alle diese Kreise mit der Ekliptik parallel liegen und der Ort des Sternes in diesem Kreise in so genauer Verbindung mit dem der Sonne steht; so bleibt wohl kein Zweifel, daß der Grund dieser Erscheinung in der Bewegung der Sonne oder der Erde liege. Eine genaue Betrachtung der Sache zeigt, daß sich alles bis auf die kleinsten Zahlenwerthe erkläre, wenn man die durch andere Erscheinungen bewiesene, successive Fortpflanzung des Lichtes mit der jährlichen Bewegung der Erde zusammensetzt. Wie dieses geschieht, mag folgende Betrachtung lehren: Es sey S (Fig. 385) ein Stern, der dem Beobachter A einen Strahl SA zusendet. Das Licht kommt in A mit dem Bestreben an, in einer gegebenen Zeit nach der Verlängerung von SA den Weg AB zurückzulegen. Bewegt sich der Beobachter und legt er in derselben Zeit den Weg AC zurück, so wirkt das Licht auf dessen Auge gerade so ein, als ob es, nebst seiner eigenen Bewegung, auch noch eine der Bewegung des Beobachters gleiche und entgegengesetzte besäße, dieser aber in Ruhe wäre. Nimmt man dem zu Folge AD = AC, so gibt die Diagonale AE des Parallelogramms ABED die Richtung an, die der Beobachter im Puncte A seiner Bahn dem von S herrührenden Lichte zuschreibt. Er sieht daher den Stern in der Verlängerung von EA, z. B. in S', d. h. er versetzt ihn nach der Richtung seiner eigenen Bewegung um den Winkel SAS' vorwärts, dessen Größe sich aus dem Verhältnisse der Geschwindigkeit des Lichtes zu jener der Erde und aus den Richtungen beider berechnen läßt. Man findet ihn = 10'',2. Es muß daher ein Stern in einem Jahre scheinbar eine Ellipse beschreiben, welche der Erdbahn ähnlich ist, und deren große Axe unter dem Winkel 20'',4 erscheint.

Sechstes Kapitel.

Die Planeten und ihre Bewegung um die Sonne.

44. Die Bewegungen der Planeten erscheinen von der Erde aus viel verwickelter, als die scheinbare Bewegung der Sonne; sie gehen aber fast alle in einem Gürtel vor sich, welcher Thierkreis (Zodiacus) heißt, mit der Ekliptik parallel ist und von ihr in zwei gleiche Theile getheilt wird. Zwei Planeten, Venus und Merkur, begleiten immer die Sonne, und heißen untere Planeten, die anderen entfernen sich bis 180°, und werden obere Planeten genannt.

Wenn ein Planet oder auch ein anderer Himmelskörper so gegen die Sonne oder einen anderen Körper zu stehen kommt, daß ihr Längenunterschied 180° beträgt, so sagt man, er sey in Opposition; sind ihre Längen gleich, so ist er in Conjunction; beträgt der Längenunterschied 90°, in Quadratur.

45. Die eigene, von der täglichen unabhängige Bewegung der Planeten bietet merkwürdige Veränderungen dar. Man bemerkt, daß zu einer Zeit ihre Bewegung langsamer wird, hierauf völlig aufhört, so daß die Planeten wie Fixsterne ihren Platz eine geraume Zeit hindurch unverändert einzunehmen scheinen. Nach einiger Zeit nehmen sie eine der ersten entgegengesetzte Richtung an, mit der sie bis zu einem gewissen Grade der Geschwindigkeit fortfahren; ist dieser erreicht, so nimmt ihre Geschwindigkeit wieder ab, wird gleich Null, und es beginnt wieder die Bewegung nach der ersteren Richtung. Man sagt, ein Planet sey stationär, wenn er keine eigene Bewegung zu haben scheint; er sey rechtläufig, wenn er sich von West nach Ost bewegt, rückläufig, wenn er eine entgegengesetzte Richtung hat. Unter allen diesen Bewegungen ist die rechtläufige doch die größte, so daß man im Allgemeinen sagen kann, alle Planeten bewegen sich von West nach Ost. Die Planetenbahnen erscheinen demnach, von der Erde aus gesehen, so verwirrt, daß es schwer hält, sich Kräfte zu denken, durch welche sie hervorgebracht werden sollen. Dieses muß um so auffallender seyn, da selbst die scheinbare Bewegung der Sonne so regelmäßig ist, und sich die Natur gleichsam untreu geworden zu seyn scheint, indem hier ihre sonstige Einfachheit und Einheit vermißt wird. Es könnte wohl der Fall seyn, daß diese Verwirrung nur scheinbar wäre, und daß wir uns nur nicht an dem Platze befinden, von wo aus die Planetenbahnen angesehen werden müssen, um sich in ihrer Regelmäßigkeit zu zeigen. In der That bleiben zur Erklärung dieser Erscheinungen nur zwei Wege übrig: entweder sind die Planetenbewegungen wirklich so verwickelt, wie sie erscheinen, und wir befinden uns im Mittelpuncte oder doch innerhalb ihrer Bahnen, oder sie erscheinen uns nur so verwirrt, weil wir uns nicht an der gehörigen Stelle befinden.

46. Die alten Astronomen, an deren Spitze Ptolomäus steht, sahen die Erde als Mittelpunct der Planetenbahnen an, und erklärten sich ihre verwickelte Bewegung dadurch, daß sie annahmen, jeder Planet bewege sich in einem Kreise abcd (Fig. 386), der Epicykel heißt, dessen Mittelpunct sich in einem anderen Kreise BAC um die Erde T bewegt, den man excentrischen Kreis nannte, weil T außer seinem Mittelpuncte liegt. Nach dieser Hypothese hat der Planet die schnellste directe Bewegung, wenn er sich in seiner größten Entfernung b von der Erde befindet, weil da seine Bewegung im Epicykel mit der des Epicykels im Kreise ABC nach derselben Richtung geschieht. Bewegt er sich aber im Bogen cda, so scheint er eine der vorigen entgegengesetzte Richtung, mithin eine rückgängige Bewegung zu haben, obgleich seine wahre Bewegung stets rechtgängig ist. Wiewohl diese

Hypothese die Planetenbahnen auf eine Bewegung in Kreisen zurückführt und im Allgemeinen die Erscheinungen zu erklären scheint; so fehlt doch bei dieser Ansicht die sonst so erhebende Einheit der Natur, weil sich die Erde in einer einfachen krummen Linie ohne Epicykel bewegt, hingegen jeder Planet einen eigenen Epicykel fordert, bei Mars gar ein dritter Kreis mit dem Epicykel und dem excentrischen Kreise angenommen werden müßte, endlich jede neue Entdeckung am Himmel eine neue Schwierigkeit mit sich bringt.

47. Da nun die Erde nicht der Mittelpunct der Bewegung der Planeten seyn kann, so handelt es sich darum, einen Punct zu finden, von dem die Planetenbahnen angesehen werden müssen, um so einfach zu erscheinen, als es dem Charakter der bereits bekannten, immer sehr einfachen Gesetze der Natur gemäß ist. Ein solcher Ort ist die Sonne. Um dieses einzusehen, muß man Mittel kennen, aus dem Orte, wo ein Planet, vom Mittelpuncte der Erde gesehen, erscheint und der **geocentrische** Ort heißt, jenen zu bestimmen, wo er vom Mittelpuncte der Sonne aus erscheinen würde, welchen die Astronomen den **heliocentrischen** Ort nennen. Die einfachste Methode bieten uns für obere Planeten ihre Oppositionen und Conjunctionen dar, weil da ihr geocentrischer Ort mit dem heliocentrischen zusammenfällt. Zwei auf einander folgende Oppositionen eines Planeten geben zwei heliocentrische Oerter desselben, und mithin seine Bewegung zwischen beiden Oppositionen, von der Sonne aus gesehen. So überzeugt man sich, daß die Bewegung dieser Planeten von der Sonne aus gesehen, so wie die der Erde um die Sonne, regelmäßig vor sich gehe, daß z. B. Jupiter von einer Opposition zur anderen einen Bogen von 13°—14° und Saturn einen Bogen von 35°—37° um die Sonne zurücklege, und daß diese Bewegung stets nach derselben Richtung erfolge. Von den unteren Planeten läßt es sich schon daraus darthun, daß ihre Bahnen die Sonne, nicht aber die Erde einschließen, weil sie nie in Opposition kommen; aber noch deutlicher wird dieses durch Beobachtung ihrer Lichtgestalten. Kehrt uns ein solcher Planet die ganze beleuchtete Scheibe zu, so muß sich nothwendig die Sonne zwischen ihm und der Erde befinden, wie dieses beim Monde im vollen Lichte der Fall ist; steht er aber so, daß wir nichts von der beleuchtenden Seite bemerken, wie beim neuen Monde, so muß er sich zwischen der Sonne und der Erde befinden. Man nennt jene Stellung die **obere**, diese die **untere** Conjunction der Planeten. Genaue Beobachtungen lehren aber, daß ein unterer Planet von der oberen Conjunction in die untere und von dieser wieder in jene übergehe, mithin um die Sonne herumkomme, ohne jemals die Erde in seine Bahn aufzunehmen.

Für **Jupiter** und **Saturn** läßt sich der Satz, daß sie sich um die Sonne bewegen, sogar aus **Ptolomäus** Bestimmungen beweisen. Die Verfinsterungen der Trabanten Jupiters geben nämlich ein Mittel an die Hand, das Verhältniß seiner Entfernung von der Erde zu jener der Sonne von der Erde zu bestimmen. Es sey z. B. S (Fig. 387) der Ort der Sonne, T der Ort der Erde, A Jupiter, der einen conischen Schatten wirft. Ist die Dauer der Finsterniß eines seiner Trabanten

genau bestimmt, so befindet sich der Trabant im Augenblicke des Mittels dieser Dauer in Opposition mit Jupiter, und sein Ort, vom Mittelpuncte Jupiters aus gesehen, fällt mit dem zusammen, wo Jupiter vom Mittelpuncte der Sonne aus erscheint. Da man ersteren aus den bekannten Bewegungen Jupiters und des Trabanten berechnen kann, so ist dadurch für diesen Augenblick auch der heliocentrische Ort Jupiters gegeben. Da auch dessen geocentrischer Ort und der Ort der Sonne für diesen Augenblick bekannt ist, so hat man im Dreiecke SAT die Winkel SAT, STA, mithin auch TSA, und aus anderen Angaben die Größe der Seite TS, mithin auch SA und TA. Es sind also aus jeder Verfinsterung eines Jupitertrabanten die Elemente des Dreieckes AST und mithin der Ort Jupiters gegen den der Erde und der Sonne bekannt. Verbindet man viele so gefundene Oerter Jupiters mit einander, so zeigt die Verbindungslinie die Bahn dieses Planeten, aus der man abnimmt, daß er sich um die Sonne bewege. Auf ähnliche Weise bestimmt man aus dem Verschwinden und Wiedererscheinen des Saturnringes seine Entfernung von der Erde, die 9¼mal größer ist, als die der Sonne von der Erde. Dieses Verhältniß gibt aber Ptolomäus selbst für das des Halbmessers der Saturnbahn zum Halbmesser seines Epicykels an, und daher ist dieser Epicykel die Erdbahn.

48. In welcher Ordnung sich die Planeten um die Sonne bewegen, lehren folgende Betrachtungen: Venus und Merkur zeigen durch ihre geringen Digressionen von der Sonne, daß sie letzterer näher stehen als die Erde, während die übrigen Planeten von ihr weiter entfernt sind, und bei ihrer Conjunction nicht wie jene vor, sondern hinter der Sonnenscheibe vorbeigehen. Von beiden steht aber wieder Merkur der Sonne näher, als Venus, weil er eine geringere Digression hat und Venus manchmal bedeckt, wie z. B. im Mai 1737 geschah. Die übrigen Planeten folgen in der Ordnung: Mars, Jupiter, Saturn und Uranus; denn die Aenderung des scheinbaren Durchmessers von der Conjunction zur Opposition ist bei Mars größer als bei Jupiter, bei diesem größer als bei Saturn, bei diesem bedeutender als bei Uranus; daher muß auch die Entfernung der Sonne von der Erde gegen ihre Entfernung vom Mars größer seyn, als gegen die vom Jupiter u. s. f., oder, was dasselbe ist, es muß obige Ordnung Statt finden. Die neu entdeckten Planeten: Ceres, Pallas, Juno und Vesta haben ihre Bahnen zwischen denen des Mars und Jupiter. Der Erde ist ihr Platz zwischen Venus und Mars angewiesen.

49. Durch diese Untersuchungen ist nur die Folge der Planeten, und daß ihre Bahnen die Sonne in sich schließen, dargethan; wie aber diese Bahnen beschaffen sind, und nach welchem Gesetze sich in ihnen die Planeten bewegen, ist dadurch nicht ausgemacht. Die Bestimmung dieser Puncte verdanken wir Kepler, einem der größten Männer aller Zeiten, der es sich zur Aufgabe seines Lebens gemacht hatte, die Gesetze der Planetenbewegungen aufzudecken. Ptolomäus ging von dem Grundsatze aus, daß sich die Planeten in kreisförmigen Bahnen mit unveränderlicher Geschwindigkeit um die Erde bewegen, und daß letztere sich außerhalb des Mittelpunctes dieses Kreises befinde, so daß die Bewegung jedes Planeten, von der Erde aus gesehen, scheinbaren Un-

gleichheiten unterliegen müsse, welche desto größer sind, je bedeutender die Excentricität seines Kreises ist. Copernicus wich nur darin vom Vorigen ab, daß er die Planeten um die Sonne laufen ließ, er behielt aber die Hypothese des excentrischen Kreises bei. Kepler hingegen unterwarf alle Puncte der Planetenbewegungen einer strengen Prüfung, zeigte die Unzulänglichkeit der Hypothese des excentrischen Kreises und der gleichförmigen Bewegung, und fand: 1) Daß sich alle Planeten in Ellipsen um die Sonne bewegen, und daß sich letztere im gemeinschaftlichen Brennpuncte aller dieser Ellipsen befinde. 2) Daß die in gewissen Zeiten beschriebenen Sectoren den Zeiten proportionirt seyen. 3) Daß die Quadrate der Umlaufszeiten mit den Würfeln der Entfernungen im geraden Verhältnisse stehen. Durch diese Gesetze ist alles bestimmt, was auf die Bewegung der Planeten Bezug hat; man kann bei einem Planeten aus seiner Umlaufszeit auf seine Entfernung von der Sonne und umgekehrt aus dieser Entfernung auf seine Umlaufszeit schließen. Dieses ist besonders wichtig für die Bestimmungen neuer Planeten. Als Uranus ungefähr ein Jahr entdeckt war, kannte man schon aus zwei Oppositionen den Bogen, den er in der Zwischenzeit zurückgelegt hatte, und mithin die Zeit, in welcher er in mittlerer Bewegung einen Umlauf um die Sonne macht. Aus der bekannten Umlaufszeit ließ sich hierauf mittelst des dritten Kepler'schen Gesetzes seine Entfernung von der Erde berechnen. Die Planetenbahnen liegen nicht in derselben Ebene, sie schneiden die Erdbahn unter Winkeln, wovon der größte (für Ceres) über 34°, der nächstfolgende (für Juno) aber schon nur 13° beträgt. Die Durchschnittspuncte einer Planetenbahn mit der Ekliptik heißen Knoten, und zwar einer der aufsteigende, der andere der absteigende. Die Excentricitäten der Planetenbahnen sind verschieden; die größte Excentricität hat die Bahn der Juno, die kleinste jene der Venus. Auch ihre Umlaufszeiten sind ungleich und werden, dem dritten Kepler'schen Gesetze gemäß, desto größer, je weiter der Planet von der Sonne absteht.

50. Die Ordnung der Planeten, wie sie erwiesen wurde, begreift man gewöhnlich unter dem Namen des Copernicanischen Systems, und unterscheidet es von dem Ptolomäischen, nach welchem sich alle Planeten, so wie die Sonne, um die Erde bewegen nach der Ordnung: Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn, und vom Tychonischen, in welchem zwar die Planeten um die Sonne gehen, aber diese sammt ihrem Gefolge um die Erde, so daß die Halbmesser der Merkur- und Venusbahn kleiner, die der übrigen Planetenbahnen größer sind, als der Halbmesser der Sonnenbahn.

Siebentes Kapitel.

Bewegung der Nebenplaneten und Finsternisse.

51. Unter den Nebenplaneten ist der Mond für einen Erdbewohner bei weitem der wichtigste; darum soll er auch zuerst betrachtet werden. Von der Bewegung des Mondes überzeugt man sich durch dasselbe Mittel, wodurch man die scheinbare Bewegung jedes anderen Himmelskörpers kennen lernt, nämlich durch Vergleichung seines scheinbaren Ortes mit dem eines Fixsternes. Auch diese erfolgt von West gegen Ost, in einer Bahn, deren Ebene durch die Erde geht und gegen die Ekliptik geneigt ist. Die Bahn selbst ist elliptisch und in einem Brennpuncte dieser Ellipse befindet sich die Erde so, daß sich der Mond eben so um die Erde bewegt, wie die Erde um die Sonne. Es lassen sich auf ihn alle Kepler'schen Gesetze anwenden, und die Elemente seiner Bahn sind ähnlichen, ja noch mehreren und größeren Veränderungen unterworfen, als die Elemente der Erdbahn und der übrigen Planeten So rücken die Knoten der Mondesbahn täglich um 3′ 10″,8 von Ost nach West fort, und machen daher in 19 Jahren einen Umlauf; der Punct seiner Erdnähe bewegt sich hingegen täglich um 6′ 40″,9 von West nach Ost, und kommt daher in ungefähr 9 Jahren einmal herum; die Neigung seiner Bahn gegen die Ekliptik ändert sich von 5° 18′ bis 5° 0′ 13″. Auch die Bewegung des Mondes weicht von der rein elliptischen Bewegung oft stark ab, und ist überhaupt sehr vielen Veränderungen unterworfen, deren einige groß sind und leicht bemerkt werden können, während sich andere nur erst bei ungemein scharfen und sehr oft wiederholten Beobachtungen zeigen.

52. Die Zeit von einer Conjunction eines Fixsternes mit dem Monde bis zur nächstfolgenden heißt siderische Umlaufszeit, siderischer Mondenmonat. Von dieser ist die periodische Umlaufszeit, d. i. die Zeit, in welcher der Mond seine Länge um 360° ändert, um so viel verschieden, als er braucht, den Bogen zu durchlaufen, um welchen die Aequinoctialpuncte in einem Monate zurückgehen. Die Zeit von einer Conjunction des Mondes mit der Sonne bis zur nächstfolgenden heißt synodische Umlaufszeit. Sie ist wegen der eigenen Bewegung der Erde länger als die siderische. Wegen der Aenderung der Absidenlinie und der Knotenlinie des Mondes muß auch die Zeit der Zurückkunft zur Erdnähe (der anomalistische Monat) und die, nach welcher er wieder zu dem Knoten kommt (der Drachenmonat), von der siderischen Umlaufszeit verschieden seyn.

53. Unter allen diesen ist der synodische Monat für das gemeine Leben am merkwürdigsten, weil er mit den Lichtgestalten (Phasen) des Mondes in Verbindung steht. Der Mond zeigt uns nämlich die ganze Scheibe beleuchtet oder es ist Vollmond, wenn er mit der Sonne in Opposition ist. So wie er sich von da entfernt, nimmt der beleuchtete Theil ab, es ist abnehmender Mond, und beträgt zur Zeit der Quadratur nur noch die Hälfte der ganzen Scheibe. Ueber die Quadratur hinaus wird der beleuchtete Theil noch kleiner, bis zur Zeit der

Conjunction die ganze Scheibe dunkel und daher Neumond ist. Von da nimmt die Größe des beleuchtenden Theiles wieder zu, wie sie vorhin abgenommen hat. Dieses alles zusammengenommen, zeigt deutlich, daß die Lichtabwechslungen davon herkommen, daß der Mond uns manchmal die ganze von der Sonne beleuchtete Scheibe, manchmal nur einen Theil derselben, manchmal die unbeleuchtete Seite zukehre, wie man aus Fig. 388 abnehmen kann, wo T die Erde, S die Sonne, L den Mond bedeutet, und der nicht beleuchtete Theil des Mondes durch die Schattirung vom beleuchteten geschieden ist.

54. Die Trabanten der übrigen Planeten bewegen sich um ihre Hauptplaneten auf ähnliche Weise und nach denselben Gesetzen, wie sich der Mond um die Erde bewegt. Auch von der Erde aus gesehen, erscheinen diese Bewegungen sehr einfach. Befindet sich der Trabant in einem seiner Knoten, so scheint er um den Planeten zu oscilliren, er entfernt sich von ihm, nähert sich ihm wieder, entfernt sich nach der entgegengesetzten Seite und kehrt wieder zurück. Befindet er sich aber außer dem Knoten, so erscheint uns seine Bahn als eine mehr oder weniger excentrische Ellipse. Den Bewegungen der Trabanten ähnlich ist die des Ringes, welcher den Saturn umgibt.

55. Bei der Opposition oder Conjunction des Mondes ereignen sich manchmal jene merkwürdigen Erscheinungen, die man Sonnen- und Mondesfinsternisse nennt. Eine Mondesfinsterniß ist die Folge des Eintrittes des Mondes in den Erdschatten; sie ereignet sich daher nur zur Zeit des Vollmondes und beginnt damit, daß sich die beleuchtete Mondesscheibe am östlichen Rande zu verdunkeln anfängt. Nach und nach rückt diese Verdunklung immer weiter, verbreitet sich bei sogenannten totalen Finsternissen über den ganzen Mond, bei partialen nur über ein größeres oder kleineres Stück desselben, das man nach ekliptischen Zollen angibt, wovon jeder $\frac{1}{12}$ des scheinbaren Mondesdurchmessers beträgt. Fig. 389 stellt die Erde E mit ihrem Schatten und ein Stück a b der Mondbahn vor. Läge die Mondesbahn ganz in der Ekliptik, so müßte bei jedem Vollmonde eine Mondesfinsterniß Statt finden; allein wegen der Neigung der Mondesbahn gegen die Ekliptik ereignet sich eine solche nur dann, wenn der Vollmond zu einer Zeit eintritt, wo sich der Mond in der Nähe der Knoten befindet und seine Breite geringer ist, als die Summe aus dem Halbmesser des Mondes und dem des Erdschattens da, wo der Mond ihn schneidet. Wäre z. B. (Fig. 390) A E ein Stück der Mondesbahn, A L ein Stück der Ekliptik, a der Mittelpunct des Mondes im Augenblicke der Opposition, b der eines Durchschnittes des Erdschattens in der Entfernung des Mondes von der Erde, und die zu a und b gehörigen Kreise die Mondesscheibe und der Durchschnitt des Erdschattens: so ist leicht zu ersehen, daß nur dann ein Durchschneiden beider Kreise Statt haben kann, wenn die Breite des Mondes a b kleiner ist, als die Summe der Halbmesser beider Kreise. Sonnenfinsternisse entstehen dadurch, daß der Mond zwischen die Sonne und die Erde zu stehen kommt, und finden daher nur im Neumonde Statt

Dieselbe Ursache, aus welcher sich nicht bei jedem Vollmonde eine Mondesfinsterniß ereignet, macht auch, daß nicht bei jedem Neumonde eine Sonnenfinsterniß entsteht, sondern nur dann, wenn die Breite des Mondes bei seiner Conjunction kleiner ist, als die Summe des scheinbaren Sonnen- und Mondhalbmessers. In Fig. 391 ist E die Erde, S die Sonne, M der Mond mit seinem Schatten. Sonnenfinsternisse sind wie die Mondesfinsternisse, entweder total oder partial, wohl auch noch ringförmig. Wenn die gerade Linie, welche vom Auge des Beobachters nach dem Mittelpuncte der Sonne gezogen wird, nicht durch den Mittelpunct des Mondes geht, so ist für diesen Ort die Verfinsterung nur partial. Selbst wenn ersteres Statt findet, wird nicht immer die ganze Scheibe verfinstert erscheinen, sondern wenn der scheinbare Durchmesser des Mondes kleiner ist, als jener der Sonne, so bleibt ein leuchtender Ring der Sonne unbedeckt und die Finsterniß ist ringförmig. Uebrigens sieht man leicht ein, daß auch die verschiedene Entfernung der Sonne und des Mondes vom Mittelpuncte der Erde eben so wie die Breite des Mondes einen großen Einfluß auf die Größe der Verfinsterung haben müsse, weil dadurch der scheinbare Durchmesser vergrößert oder verkleinert wird. Eine ähnliche Wirkung bringt auch die Höhe des Mondes über dem Horizonte eines Ortes hervor, woraus begreiflich wird, warum die Größe der Sonnenfinsternisse in verschiedenen Orten der Erde verschieden ist, während doch Mondesfinsternisse allenthalben gleich groß erscheinen.

Alles, was man in Betreff der Mondes- und Sonnenfinsternisse fragen kann, läßt sich genau auf weit entfernte Zeiten durch Rechnung angeben, weil die Lage der Mondbahn gegen die Ekliptik, die Bewegung des Mondes und der Sonne, ihre Entfernung von der Erde und die Größe des Erdschattens gegeben sind. Auf diese Weise findet man, daß in 18 Jahren nur 70 Finsternisse erfolgen können, worunter 29 Mond- und 41 Sonnenfinsternisse sind, daß jedes Jahr im Durchschnitte vier Finsternisse hat, und daß die Finsternisse ungefähr nach 19 Jahren wieder in derselben Ordnung zurückkehren. (Ausführliche Anleitung zur trigonometrischen Berechnung der an einem gegebenen Orte sichtbaren Sonnenfinsternisse von J. W. Müller Sulzbach 1815. Littrow's Darstellung der Sonnenfinsternisse. Wien 1820.) — Aus der Bewegung des Mondes und der Sonne ergeben sich besondere Epochen, welche zur Bestimmung historischer Ereignisse dienlich sind. Der Zeitraum, nach welchem die Mondesphasen, z. B. der Neumond, wieder auf denselben Jahrestag fallen, heißt Mondeszirkel und beträgt 19 Jahre, weil 223 Mondesumläufe fast genau in 19 Jahren geschehen. Die Zahl, welche anzeigt, das wievielte ein gegebenes Jahr im Mondeszirkel sey, heißt goldene Zahl. Sonnenzirkel und Mondeszirkel mit einander und mit einer dritten, nicht astronomischen Periode von 15 Jahren, welche Inductionszirkel oder Römerzinszahl heißt, multiplicirt, geben 7980 als die julianische Periode, nach welcher Sonntagsbuchstabe, goldene Zahl und Zinszahl wieder auf denselben Jahrestag fallen. Siehe hierüber: Anleitung zur Zeitkunde, herausgegeben von G. F. von Vega. Wien und Leipzig 1801.

56. Da die Planeten einen Schatten werfen, wie unsere Erde, so werden ihre Trabanten auch manchmal in denselben eintreten und

verfinstert werden. Solche Finsternisse sind besonders bei den Jupiterstrabanten häufig, und werden zum Behufe der irdischen Längenbestimmungen von den Astronomen fleißig beobachtet.

Achtes Kapitel.

Die Kometen und ihre Bewegung.

57. Die Kometen erscheinen meist unerwartet und mit einem auffallenden Aeußeren. Sie bleiben nur kurze Zeit sichtbar, nähern sich dabei mit rasch zunehmender Geschwindigkeit der Sonne immer mehr, so daß sie sich manchmal ganz in den Sonnenstrahlen verbergen; hierauf entfernen sie sich wieder von ihr, ihre Geschwindigkeit nimmt ab, bis sie mit freiem Auge, und zuletzt auch mit Fernröhren unsichtbar werden. Sie bestehen meistens aus einer trüben, veränderlichen Dunstmasse, haben in dieser einen Kern, der weder fest noch gasförmig seyn kann, sondern aus discreten Theilen bestehen muß, weil er das Licht der Fixsterne ohne merkliche Schwächung und ohne Refraction durchläßt. Bei manchem Kometen ist die Dunstmasse rund, bei den meisten aber dehnt sie sich in einer Richtung in Form eines Schweifes aus, welcher von der den Kern umgebenden Dunsthülle wesentlich verschieden seyn soll; er ist bald gerade, bald gekrümmt (Komet vom J. 1807 und 1812), bald ganz, bald in mehrere Büschel getheilt, aber meistens von der Sonne abgewendet. Diesen Schweif bekommen die Kometen wahrscheinlich erst, wenn sie sich der Sonne stark nähern, ja man hat sogar Kometen bemerkt, die das erste Mal einen Schweif hatten, bei ihrer Wiedererscheinung aber keine Spur davon merken ließen. Ihr Licht ist bald gelblich (K. vom J. 1618), bald röthlich, bald weiß (K. vom J. 1577), bald grünlich (K. vom J. 1811).

58. Die Kometen haben außer der täglichen Bewegung, die eine Folge der Axendrehung der Erde ist, auch eine eigene. Die Richtung der letzteren ist nicht, wie bei den Planeten, immer die von West nach Ost, und ihre Bahn ist selten innerhalb des Thierkreises gelegen; ja bei einigen fast auf der Erdbahn senkrecht (K. v. J. 1707). Man weiß nun mit Bestimmtheit, daß die Kometen im Allgemeinen dieselben Gesetze der Bewegung befolgen, wie die Planeten, daß sie sich wie diese um die Sonne bewegen, und sogar auch in einer Kegelschnittlinie. Allein die Beschaffenheit dieser Bahn weicht vorzüglich dadurch von der den Planeten eigenen ab, daß sie, wenn sie eine Ellipse ist, eine weit größere Excentricität hat, als die Planetenbahnen, daß sie aber auch eine Hyperbel seyn kann. Von einigen Kometen ist es erwiesen, daß sie in Ellipsen um die Sonne gehen. Man kennt ihre Umlaufszeit und kann ihr Wiedererscheinen voraussagen. So war dieses mit dem Kometen der Fall, der zuerst im Jahre 1682 von Halley beobachtet und berechnet wurde, und mit einer kleinen Verspätung wirklich erschien. Er ist seit dieser Zeit schon mehrmal beobachtet worden. Man sah ihn das

letzte Mal im Jahre 1835. In der neuesten Zeit berechnete Encke einen von Pons entdeckten Kometen, der nur eine Umlaufszeit von 1208 Tagen hat und nun schon öfter am berechneten Orte gesehen wurde.

59. Ueber die Natur der Kometen läßt sich wenig mit Gewißheit sagen. In älteren Zeiten hielt man sie für bloße Lichterscheinungen und für Vorboten großer Unglücksfälle; heut zu Tage ist unsere Kenntniß derselben so weit gediehen, daß man mit Bestimmtheit weiß, sie seyen gleich den Planeten außer unserer Atmosphäre befindliche Weltkörper, ohne jedoch über ihre weitere Bestimmung und über das Verhältniß, in welchem sie gegen die anderen Körper unseres Sonnensystems stehen, etwas Näheres sagen zu können.

60. Daß die Kometen an Zahl die Planeten übertreffen, muß Jedem einleuchten, der weiß, daß fast jährlich einer oder mehrere gesehen werden, die sich von denen unterscheiden, welche früher schon beobachtet wurden, und daher als neue Ankömmlinge betrachtet werden müssen. Die früheren Zeiten waren auch nicht minder reich an Kometenerscheinungen, wiewohl uns wenig davon berichtet wird; aber selbst die mit der Aufmerksamkeit der Astronomen in gleichem Verhältnisse wachsende Anzahl solcher Erscheinungen rechtfertiget schon diese Annahme. Man beobachtete bis zum J. 1790 kaum 80 Kometen, und von diesen gehört die Hälfte dem letzten Jahrhunderte an; bis jetzt kennt man deren 400 — 500. Wie viele mögen noch heut zu Tage vorübergehen, ohne gesehen zu werden oder nur in südlichen Gegenden sichtbar seyn, wo sie von keinem beobachtenden Auge bemerkt werden? Auch stimmt Alles mit der Annahme überein, daß sich die Kometen nicht wie die Planeten in einer schmalen Zone bewegen, sondern gleichförmig im Raume vertheilt sind. Da nun bis jetzt beinahe 60 Kometen beobachtet wurden, welche der Sonne näher kamen als Venus, und deren gewiß eben so viele unbeobachtet vorübergegangen sind, ferner im Durchschnitte alle 500 Jahre dieselben Kometen wieder sichtbar werden, so mag der Raum zwischen der Sonne und der Venus wohl 600, mithin der zwischen der Sonne und der Bahn des Uranus wenigstens 400,000 Kometen enthalten. Wie viel mehr mögen aber noch außerhalb der Bahn des Uranus liegen? Es machen daher die Kometen wirklich den größten Theil unseres Sonnensystems aus.

Neuntes Kapitel.

Nähere Betrachtung der Sonne und der Planeten.

61. Die Sonne galt in früheren Zeiten, besonders bei den Anhängern der Aristotelischen Philosophie, für das Vorbild aller Reinheit, bis im Anfange des 17ten Jahrhunderts entdeckt wurde, auch sie habe Flecken. Spätere Beobachtungen haben dieses bestätigt und zur vollen Gewißheit erhoben. Häufig hat die ganze Oberfläche der Sonne gleich-

sam ein marmorirtes, griesiges Ansehen, und dann zeigen gute Fernröhre eine Menge feiner mattgrauer, über die ganze Oberfläche zerstreuter Puncte. Diese fließen oft zusammen und bilden jene grauen Stellen, welche man Hof oder Nebel nennt. Häufig schließen sich daran schwärzere Flecken, erscheinen aber in der Regel nur bis auf eine Entfernung von 25° zu beiden Seiten des Sonnenäquators. Einige dieser Flecken haben keine bestimmbaren Dimensionen und erscheinen als bloße Puncte, andere hingegen, die Kernflecken, haben merkliche Ausdehnungen. Letztere sind häufig von Höfen umgeben und zwar von solchen, die eine dem Kernflecke ähnliche Figur haben. Diese Figur ist meist ring=, oft strahlenförmig, selten rund. Die Flecken erscheinen oft einzeln, noch öfter aber in ganzen Gruppen, und nicht selten umfaßt ein einzelner Hof eine ganze Gruppe. Hof und Fleck sind meistens scharf begrenzt und nur stellenweise verwaschen. Schon die größeren Kernflecke sind von lichteren Linien aderartig durchzogen, aber nahe am östlichen oder westlichen Sonnenrande erscheinen nicht selten hellere Stellen als die übrige Sonnenoberfläche ist, ähnlich den Runzeln eines welken Apfels. Man nennt sie Sonnenfackeln. Sowohl die Flecken als die Fackeln sind von verschiedener Ausdehnung, die größeren Gruppen der Flecken nehmen oft $^1/_3$ oder $^1/_4$ des Sonnendurchmessers ein und erstrecken sich demnach auf 50—60 tausend Meilen. Alle diese Phänomene unterliegen beständigen Veränderungen, sie wachsen und nehmen ab, vereinigen und trennen sich, ändern ihre Gestalt und Größe fortwährend; die größeren Flecken entstehen aber meistens durch Vereinigung mehrerer kleiner. Oft sieht man die Sonne längere Zeit, selbst mehrere Monate lang, ohne Flecken, nicht selten ist die Zahl und Größe der zugleich vorhandenen sehr bedeutend, doch nehmen sie nie $\frac{1}{100}$ der ganzen leuchtenden Fläche der Sonne ein. Regelmäßig sieht man sie am östlichen Rande erscheinen, auf der Sonnenfläche nach West fortrücken, und am westlichen Rande wieder verschwinden. Daraus hat man auf eine Axendrehung der Sonne von $25^1/_2$ Tag geschlossen. So wie ein Fleck dem Rande der Sonnenscheibe näher kommt, erfährt er natürlich eine optische Verkürzung, allein man bemerkt bei den mit einem Hof umgebenen Kernflecken, daß der Kern nicht mehr im Mittel des Nebels steht, sondern nach Ost zurückbleibt, zum Beweise, daß sich die schwarzen Kernstellen auf einer kleineren Kugel bewegen als die Nebel. Daraus läßt sich weiters schließen, daß die Sonnenflecken weder dunkle, um die Sonne drehende Körper, noch vom Sonnenkörper ausgeworfene Schlacken, noch ausgebrannte Stellen des Sonnenkörpers seyn können, wie einige vermuthet haben, sondern, daß man annehmen müsse, die Sonne sey ein dunkler Körper, der von zwei Lichtsphären umgeben ist, und die Flecken seyen solche Stellen, wo die Atmosphären durchbrochen sind und uns eine Stelle des dunklen Sonnenkörpers sehen lassen. Damit steht auch im Einklange, daß sich das Sonnenlicht wie das eines gasförmigen Körpers in Bezug auf seinen Polarisationszustand verhalte, wie Arago bemerkt hat.

62. Wiewohl die scheinbare Größe der Sonne jener des Mondes beinahe gleich kommt, so ist doch ihre wahre Größe der des Mondes weit überlegen. Aus ihrer Parallaxe, die nur nahe 8'',5 beträgt, folgt, daß ihre Entfernung von der Erde 21 Millionen Meilen betrage. Ihr scheinbarer Durchmesser hat 32' 2'',9, und daher ihr wahrer 112,14 Erdhalbmesser, woraus folgt, daß sie an Oberfläche die Erde 12598mal, an körperlichem Inhalte 1415225mal übertrifft.

63. Der bekannteste der Planeten ist ohne Zweifel Venus, nämlich jener Stern, den man gewöhnlich Abendstern oder Morgenstern nennt. Beobachtet man ihn, wenn er anfängt des Abends sichtbar zu werden, so findet man, daß er sich täglich mehr von der Sonne entfernt, bis seine Entfernung 48° beträgt, dann kehrt er wieder zu ihr zurück, und verschwindet endlich ganz in den Sonnenstrahlen. Bald darauf sieht man Morgens einen ähnlichen Stern vor der Sonne aufgehen, sich von ihr immer weiter, zuletzt bis 48° entfernen, hierauf eben so wieder zu ihr zurückkehren. Es ist wohl kein Zweifel, daß dieses derselbe Stern, wie der vorhin erwähnte, sey. Der scheinbare Durchmesser der Venus ändert sich von 9'' bis 64''. Ihr wahrer Durchmesser beträgt 1717 Meilen, ist also nahe gleich dem Durchmesser der Erde. Sie erscheint sehr hell glänzend, manchmal gar so, daß man sie bei Tage sieht. Mittelst Fernröhren bemerkt man an ihr ähnliche Lichtphasen wie beim Monde, zum Beweise, daß sie, so wie dieser, ein dunkler Körper ist, der sein Licht von der Sonne bekommt. Ueber die Umdrehungszeit der Venus um ihre Axe ist man ungeachtet vielfältiger Bemühungen nicht ins Reine gekommen, am wahrscheinlichsten ist eine Umdrehungszeit von 24¼ St. Den Lauf um die Sonne vollendet Venus jedoch in 224 T. 16^h 49,7. Ihre mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 15 Millionen Meilen.

64. Der Planet Merkur zeigt ähnliche Bewegungen wie Venus, nur mit dem Unterschiede, daß er sich nur bis auf 28° von der Sonne entfernt. Wegen dieser geringen Entfernung ist er auch schwer zu sehen. Sein scheinbarer Durchmesser wechselt von 4''—11'',6; sein wahrer Durchmesser beträgt 671 Meilen. Er hat Flecken auf seiner Oberfläche, aus deren Beobachtung man auf eine Axendrehung von nahe 24 St. geschlossen hat. Seine siderische Umlaufszeit beträgt 87 T. 23^h 15' 46'', seine mittlere Entfernung von der Sonne nahe 8 Millionen Meilen.

Venus oder Merkur sieht man, nachdem sie unsichtbar geworden sind, manchmal wie schwarze Scheibchen durch die Sonnenscheibe gehen, und so gleichsam eine Sonnenfinsterniß verursachen. Dieses Ereigniß ist für den Astronomen von großer Wichtigkeit, weil es ihm Mittel verschafft, die Sonnenparallaxe kennen zu lernen. (Merkwürdigkeiten von dem Durchgange der Venus durch die Sonnenscheibe von Kohl. Greifswalde 1768.)

65. Mars hat ein feuerrothes Licht und eine sehr ungleiche Bewegung. Sein Durchmesser wächst von 3'',3—23'',21''. Sein wahrer Durchmesser hält 892 Meilen. Er vollendet eine Axendrehung in 24^h 39'

und einen siderischen Umlauf in 1 Jahr 321 T. 23½ St.; seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 32 Millionen Meilen. In der Erdnähe zeigt ein gutes Fernrohr auf diesem Planeten Flecke verschiedener Art, unter anderen zwei weiße, sehr stark glänzende, sehr nahe an seinen Polen, die abwechselnd wachsen und kleiner werden, je nachdem es daselbst Winter und Sommer ist und etwas unserm Eis ähnliches zu seyn scheinen. Man hat Grund auch eine Marsatmosphäre anzunehmen.

66. Jupiter ist nach der Venus der glänzendste Planet. Sein scheinbarer Durchmesser beträgt 40″—49″: sein wahrer Aequatordurchmesser beträgt 20018, sein Polardurchmesser 18524 Meilen. Er dreht sich in 9^h 55′ 26″,56 um seine Axe und in 11 J. 314 T. 20^h 2 7″ um die Sonne, von der er im Mittel 107 Mill. Meilen absteht. Auf dem gelblichen Grunde dieses Planeten bemerkt man graue Streifen, wovon zwei besonders groß und mit dem Aequator parallel sind. Die weiter nach N und S abstehenden sind minder scharf begrenzt, matter und kleiner. Sowohl diese als die Hauptstreifen unterliegen starken Veränderungen, und sie sind wahrscheinlich Wolken, die in der dichten Atmosphäre dieses Planetens minder schnell wechseln als bei uns.

67. Saturn erscheint mit etwas blasserem Lichte als ein Fixstern der ersten Größe, unter einem Durchmesser von 15″—21″; sein wahrer Durchmesser beträgt 17258 Meilen. Er erscheint noch mehr abgeplattet als Jupiter. Seine Rotationszeit ist 10^h 29′ 17″, seine siderische Umlaufszeit 29 J. 166 T. 23^h 16′ 32″, sein mittlerer Abstand von der Sonne 197¼ Millionen Meilen. Seinen Aequator bezeichnet ein grauer Streif, ähnlich dem auf Jupiter bemerkten. Die merkwürdigste Eigenschaft dieses Planeten sind die ziemlich breiten und verhältnißmäßig sehr dünnen Ringe, welche ihn in der Ebene seines Aequators umgeben. Der äußere Durchmesser des äußeren Ringes beträgt nach Bessel 37587, der innerste 25492 M., mithin die gesammte Breite aller Ringe mit Inbegriff ihrer gegenseitigen Abstände 6047 M. Von der Oberfläche des Planeten stehet der innerste Ring 4594 M. ab. Nach Herschel liegen nicht alle diese Ringe in derselben Ebene, sondern sind etwas gegen einander geneigt, sie haben Ungleichheiten und Verbiegungen. Ihr Centrum fällt nicht genau mit dem Saturns zusammen. Diese Ringe rotiren selbst um den Planeten. Man sieht sie der großen Dicke wegen nur, wenn man sich weit außer ihrer Ebene befindet.

68. Uranus erscheint durch Fernröhre mit einem Durchmesser von 3″,5—4″,3 und einer merklich abgeplatteten Scheibe; sein wahrer Durchmesser beträgt 7466 Meilen, sein siderischer Umlauf 84 J. 5 T. 19^h 41′,36″.

69. Die Planeten Ceres, Pallas, Juno, Vesta erscheinen von sehr geringem Durchmesser. Der kleinste von ihnen ist Vesta: sein Durchmesser beträgt nur 58 Meilen; alle vier aber haben nach Schröter ein sehr helles blendendes Licht, und sind vielleicht selbst leuchtende Körper. Sie müssen gewaltige Atmosphären haben, weil

sie oft, besonders Ceres, von einer Art Nebel eingehüllt erscheinen, oft aber mit ganz reinem Lichte strahlen.

70. Unter den Nebenplaneten kennen wir natürlich keinen so genau, wie den treuen Begleiter unserer Erde, den **Mond**. An seiner Oberfläche bemerkt man schon mit freiem Auge ungleichartige helle und dunkle Flecken, mit Fernröhren aber blendend weiße, tief stahlgraue und grünlichgraue Stellen mit unzähligen Abstufungen der Farbe. Sie erscheinen anders bei voller Beleuchtung der Mondesscheibe, als wenn nur ein Theil derselben Licht bekommt, aber man muß sie unter den verschiedensten Beleuchtungsverhältnissen beobachten, um über ihre Natur nicht zu gewagte Schlüsse zu ziehen. Die helleren Partien sind meistens, aber nicht immer, gebirgig, die dunkleren verhältmäßig eben, die einzelnen glänzenden Puncte in der Regel schroff absteigende Vertiefungen. Hie und da erkennt man am Monde Gebirgszüge wie sie auf unserer Erde vorkommen, doch laufen diese nicht wie die irdischen Gebirge in verschiedenen Aesten aus, sondern erfüllen meistens ein großes Terrain. Isolirt stehende Berge und Hügelgruppen kommen aber sehr häufig vor. In den grauen, nicht ebenen Landschaften beobachtet man sogenannte **Bergadern**, die meist gerade fortziehen und Anfang und Ende in Ebenen haben. Sie sind selten heller als ihre Umgebung und daher bei mäßig hoher Beleuchtung nicht mehr sichtbar. Ganz verschieden von den Gebirgsbildungen auf der Erde sind die auf dem Monde häufig vorkommenden **Ringgebirge**. Sie bilden kreisförmige Wälle, die concav abfallende Tiefen rings umgeben und sich besonders durch ihre Größe von einander unterscheiden. Die kleinsten Bildungen dieser Art heißt man **Krater** oder **Gruben**, die größten, eine ebene Fläche einschließenden **Wallebenen**. Die Ringgebirge kommen meistens nur in dem helleren Theile des Mondes vor, und finden sich in ihrer größten Ausbildung und Häufigkeit im südlichen und südwestlichen Theile. Ihre innere Fläche ist selten ganz eben, sondern es kommen darin entweder isolirte Bergkegel oder Hügelgruppen, wohl auch schmale aderartige Höhenzüge, kraterartige Vertiefungen und blasenartig aufgetriebene Stellen vor. Nur selten sind die da bemerkbaren lichteren Züge Erhöhungen. Die kleineren eigentlichen Ringgebirge finden sich auf dem Monde in großer Anzahl und oft dicht zusammengedrängt, sie haben meistens rund herum dieselbe Höhe und häufig nach innen und außen ein terrassenartiges Abfallen. Innerhalb des Walls steht oft ein Centralberg, selten eine Hügelgruppe. Der Centralberg nimmt, wo er vorkommt, fast immer die Mitte des Walls ein, erhebt sich nie zur Höhe des Walls, ja bleibt meist unter der halben Wallhöhe zurück. Die höchsten Centralberge haben nur eine Höhe von 4—5000 Fuß, während die Wallhöhe 12—16000 F. beträgt. Eine sehr merkwürdige Bildung im Mond sind die sogenannten **Rillen**, nämlich schmale, tiefe Furchen, die meist gerade oder nur sanft gebogen durch Ebenen und Gebirgsgegenden hinstreichen. Sie erscheinen im Vollmonde als glänzende Lichtlinien, bei schiefer Beleuchtung als schwarze Fäden; manche haben stellenweise

Erweiterungen, als gingen sie durch Krater, verzweigen und durchschneiden sich, durchsetzen hohe, steile Berge, ohne ihre Breite zu ändern. Man hat sie, wiewohl gegen alle Wahrscheinlichkeit, bald für Flüsse, bald für Canäle oder Landstraßen gehalten. Man hat gar keinen Grund, auf der Mondoberfläche etwas unseren Wassersammlungen ähnliches anzunehmen, und selbst die Voraussetzung einer Mondatmosphäre geschah mehr aus Sympathie für die etwa vorhandenen Mondbewohner, als weil Beobachtungen dazu nöthigten.

71. Die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde beträgt 51803 Meilen, seine siderische Umlaufszeit 27 T. $7^h\ 43'\ 11''.5$, die tropische 27 T. $7^h\ 43'\ 4''.7$, die synodische aber, nach welcher dieselben Phasen wiederkehren, 29 T. $12^h.44'\ 2''.9$. Der Mondesdurchmesser erscheint bei mittlerer Entfernung unter $31'\ 3''.38$, und beträgt 0,27234 Erddurchmesser oder 468 Meilen. Der Mond hat also eine 13.7mal kleinere Oberfläche und ein 49.6mal kleineres Volum als die Erde. Er muß sich in derselben Zeit, in welcher er synodisch um die Erde geht, um seine Axe drehen, denn sonst könnte er uns nicht immer dieselbe Seite zuwenden. (Ueber den Mond siehe: Allgemeine vergleichende Selenographie. Berlin 1837.)

72. Die physische Beschaffenheit der übrigen Nebenplaneten ist uns völlig unbekannt. Weil sie bei ihrer ungemein großen Entfernung doch nur sehr klein sind, so zeigen sie selbst durch die besten Fernröhre keine begrenzten Flecken, und man kann auf das Daseyn von Unebenheiten auf denselben nur aus der veränderlichen Stärke ihres Lichtes schließen. Am Saturnringe allein erkennt man, wenn er eine günstige Lage hat, durch gute Fernröhre mehrere helle und dunkle Stellen, die auf bedeutende Unebenheiten schließen lassen.

Zehntes Kapitel.

Ursache der Planetenbewegungen.

73. Die große Uebereinstimmung in der Bewegung aller Körper des Sonnensystems läßt schließen, daß sie alle durch Kräfte hervorgebracht werden, die nach denselben Gesetzen wirken; ja man kann schon deßhalb die Vermuthung wagen, daß es nur eine einzige Kraft sey, deren Wirksamkeit durch die Entfernung der Planeten modificirt wird. Zur vollen Gewißheit wird diese Vermuthung erst, wenn man die Erscheinungen der Planetenbewegung nach mathematischen Principien beurtheilt. Da die Planeten krumme Bahnen beschreiben, so muß durch ihre Bewegung ein Bestreben entstehen, sich vom Mittelpuncte der Bahn zu entfernen; weil dieses aber nicht geschieht, so muß auch eine andere Kraft da seyn, welche der Fliehkraft entgegen wirkt und ihre Wirkung aufhebt. Weil die Planeten sich so bewegen, daß die um die Sonne beschriebenen Sectoren den Zeiten, in welchen sie beschrieben werden, proportionirt sind; so muß ihre Bewegung eine Cen-

tralbewegung seyn, und die Centripetalkraft muß in der Sonne ihren Sitz haben. Weil die Bahnen der Planeten Ellipsen sind, in deren einem Focus sich die Sonne befindet, so muß, wie man streng beweisen kann, die Centripetalkraft abnehmen, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt. Weil die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der halben großen Axen der Planetenbahnen proportionirt sind, so ist die Centripetalkraft der Sonne für alle Planeten von derselben Natur und wird bloß durch die Entfernung modificirt. Ja diese Kraft muß sich auf jedes materielle Theilchen eines Planeten erstrecken, weil sonst der Erfolg der Centripetalkraft auch von der Masse der Planeten abhängen müßte, und das gerade genannte Kepler'sche Gesetz nicht Statt finden könnte. Dieses alles zusammengenommen zeigt, daß alle Planeten in ihren Bahnen durch eine Anziehungskraft erhalten werden, welche in der Sonne ihren Sitz hat, auf alle materielle Theile mit gleicher Stärke wirkt, und so abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächst.

74. Da sich die Nebenplaneten nach denselben Gesetzen um die Hauptplaneten bewegen, wie diese um die Sonne, indem sie um ihre Hauptplaneten Ellipsen beschreiben, den Zeiten proportionirte Sectoren zurücklegen, und, wo deren mehrere einen Hauptplaneten begleiten, wie bei Jupiter, Saturn und Uranus, auch die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der Entfernungen proportionirt sind; so muß auch von den Hauptplaneten eine Kraft ausgehen, welche dieselben Gesetze befolgt, wie die Centralkraft der Sonne. Wiewohl diese Schlüsse nur für Planeten gelten, welche Trabanten haben, so läßt sich schon der Analogie nach schließen, daß auch die trabantenlosen Planeten von diesem Gesetze keine Ausnahme machen werden, ja die runde Gestalt derselben ist allein schon hinreichend, uns davon zu überzeugen, indem diese nur bei einem Bestreben aller materiellen Theile nach einem gemeinschaftlichen Mittelpuncte Statt finden kann.

75. Da nun die Intensität der Centripetalkraft der Sonne und der Hauptplaneten ganz allein von der Entfernung abhängt, so muß sich die Anziehung, welche in der Sonne ihren Sitz hat, nicht bloß auf die Planeten, sondern auch auf ihre Trabanten und auf die Kometen erstrecken, und die Anziehung der Hauptplaneten muß auch bis zur Sonne reichen, so daß man sagen kann, diese Anziehung ist wechselseitig, jeder Körper zieht alle andern an, jeder wird von allen andern angezogen, und die Anziehung ist eine allgemeine Eigenschaft der Materie, muß daher mit der Menge derselben zunehmen. Der allgemeinste Ausdruck des Anziehungsgesetzes ist also $p \cdot \frac{M\,m}{D^2}$, wo M, m die einander anziehenden Massen sind, D die Entfernung, in welcher sie stehen, und p die Anziehung zweier Massen, deren jede = 1 ist, in der Entfernung = 1 bedeutet, so wie in I. 132, als Lehnsatz angenommen wurde.

76. Die Leichtigkeit, mit der man aus diesem Gesetze die Phänomene der irdischen Schwere erklärt, läßt schon vermuthen, daß diese

Anziehung der Himmelskörper mit der irdischen Schwere einerlei sey. Der Umstand, daß dieses Gesetz die Wirkung eines Körpers von seiner Masse abhängig macht, bringt diese Vermuthung fast zur Gewißheit, aber unwiderleglich thut es folgende Betrachtung dar: Da sich der Mond fast in einem Kreise um die Erde bewegt, so gibt der Quersinus des beschriebenen Bogens die Größe des Weges an, um den er sich in einer Zeiteinheit durch Wirkung der Centripetalkraft der Erde nähern würde, wenn er nicht durch die Tangentialkraft seitwärts abgelenkt würde. Dieser Quersinus läßt sich aus der Beobachtung des in einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens finden. Sucht man aber den Weg, um den sich der Mond in einer Zeiteinheit der Erde nähert, wenn die irdische Schwere sich bis zu ihm erstreckt, nach der Voraussetzung, daß sie abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächst; so findet man mit den nöthigen Correctionen genau dieselben Resultate, wie durch das vorige Verfahren, zum Beweise, daß die Centripetalkraft der Erde, die den Mond erhält, eigentlich die Schwere der Erde sey. Man kann daher wohl allgemein die der Materie eigene Anziehung **Gravitation** nennen, und an ihr das unsichtbare Band erkennen, welches die Körperwelt zusammenhält, welches den wohlthätigen Lauf der Himmelskörper und den unbeachteten Fall eines Stäubchens nach denselben Gesetzen regiert.

77. Eine nothwendige Folge dieses Gesetzes ist, daß sich nicht bloß die Planeten um die Sonne bewegen, sondern daß sich das ganze Planetensystem sammt der Sonne um einen gemeinschaftlichen Mittelpunct (Centrum der anziehenden Kräfte) dreht, der aber noch innerhalb des Sonnenkörpers liegt, weil die Sonne alle Planeten zusammengenommen an Masse weit übertrifft; die Sonne hat daher nur wegen ihrer größeren Masse, nicht aber wegen einer physikalischen Eigenschaft, die Macht, die Planeten um sich herumzuführen. Könnte die Masse irgend eines Planeten so sehr vermehrt werden, daß sie die der Sonne und der übrigen Planeten überträfe, so würde dieser die Sonne ihrer Würde entsetzen, und sie mit den übrigen Planeten um sich herumführen. Ja gibt es unter dem Heere der Sterne einen, dessen Masse die Summe der Massen der Sonne und der Planeten übertrifft; so muß das ganze Planetensystem sammt der Sonne auf ähnliche Weise um ihn herumgehen, wie sich z. B. Jupiter sammt seinen vier Trabanten um die Sonne bewegt.

78. Eine andere Folge des allgemeinen Gravitationsgesetzes ist, daß die Planeten selbst auf einander einwirken und sich in ihren rein elliptischen Bewegungen stören; ja selbst die Sonne muß einige Schwankungen erleiden, die aber wegen der geringen Masse der Planeten gegen die der Sonne sehr unbedeutend sind. Genaue und lang genug fortgesetzte Beobachtungen zeigen diese Störungen, welche die Astronomen **Perturbationen** nennen, genau so, wie sie die nach dem Gesetze der Gravitation gemachten Rechnungen angeben; sie lehren, daß die Planeten nach ihrer verschiedenen Lage gegen einander auch verschieden auf einander einwirken, bald rückwärts, bald vorwärts, bald

zur Sonne hin, bald von ihr weggezogen werden, und daß ihre Geschwindigkeit dadurch bald vermehrt, bald vermindert wird. Dadurch weicht der Ort, den ein Planet in seiner Bahn wirklich einnimmt, von dem ab, welchen er ohne Störungen nach der rein elliptischen Bewegung einnehmen würde, und selbst alle Elemente der Ellipsen erleiden dadurch Veränderungen, sie werden bald enger, bald weiter, schieben sich um den Brennpunct, den die Sonne einnimmt, herum, und nur die Länge der großen Axe bleibt unverändert. Auf diese Weise erweitert sich z. B. die Erdbahn beständig seit Jahrtausenden, modificirt dadurch den Erfolg der Einwirkung der Sonne auf den die Erde begleitenden Mond so, daß seine Geschwindigkeit stets, wenn auch nur ungemein wenig zunimmt, und eben daher kommt es auch, daß die Schiefe der Ekliptik seit ungefähr 4000 Jahren abnimmt. Es ist wohl begreiflich, daß unter allen Einwirkungen, welche die Erde erleidet, die der Sonne wegen ihrer großen Masse und die des Mondes wegen seiner Nähe am bedeutendsten seyn müssen. Für sie wird sogar die Gestalt der Erde einen Einfluß auf die Größe und Beschaffenheit der Störungen haben, weil ihre Entfernung von der Erde nicht so groß ist, daß man die Erde als Punct ansehen könnte, und diese auch keine Kugel ist, bei der man die ganze Masse in einem Puncte vereinigt annehmen kann. Genaue, nach dem Gravitationsgesetze angestellte Rechnungen lehren auch, daß durch diese Einwirkung auf die an den Polen abgeplattete Erde das Vorrücken der Aequinoctialpuncte und das Schwanken der Erdaxe hervorgebracht werde. Solche Rechnungen geben nicht bloß das Daseyn gewisser Bewegungen, sondern auch ihre Größe an; durch sie hat man die Periode vieler Bewegungen früher kennen gelernt, als man sie aus Beobachtungen abnehmen konnte, ja auf manche Phänomene ist man früher durch Resultate des Calculs aufmerksam gemacht worden, als sie durch Beobachtungen erkannt wurden, und in allen Fällen hat sich das Gravitationsgesetz als vollkommen richtig bewährt.

79. Aus dem Gesetze der Gravitation kann man auch die Masse, das absolute Gewicht und die Dichte jedes Planeten, so wie den Raum berechnen, den auf ihm ein Körper im freien Falle in der ersten Secunde zurücklegt. Diese Berechnung gründet sich auf Folgendes: Da die Anziehung jedem einzelnen materiellen Theilchen eigen ist, so muß sie mit der Masse des anziehenden Körpers zunehmen; andererseits kann man aber die Anziehung durch den Quersinus des Bogens schätzen, der in einer Zeiteinheit zurückgelegt wird, und welcher desto größer ist, je schneller die Bewegung vor sich geht, oder je kleiner bei derselben Entfernung die Umlaufszeit ist. Vergleicht man daher die Bahnen, welche in gleichen Zeiten um zwei Centralkörper zurückgelegt werden, so gibt ihr verkehrtes quadratisches Verhältniß das der Massen der Centralkörper. Auf diese Weise hat man das Verhältniß der Sonnenmasse zur Masse jedes Planeten bestimmt, der von Trabanten umgeben ist. Die Massen der trabantenlosen Planeten muß man aus den Perturbationen, die sie an der Erdbahn anrichten, abnehmen. Auf

diesem Wege hat man die Masse des Mars und der Venus kennen gelernt und sich überzeugt, daß die Masse des Merkurs nur sehr klein sey, weil seine Störungen wenig merklich sind, wiewohl man die wahre Größe derselben nicht genau zu bestimmen im Stande ist. Indeß nimmt man sie so an, wie sie sich aus der Wirkung auf den Encke'schen Kometen ergibt, der ihm im Jahre 1835 sehr nahe kam. Aus der Masse, verglichen mit dem Volum, erkennt man die Dichte der Himmelskörper, so wie den Fallraum in der ersten Secunde, wie folgende Tafel zeigt.

	Masse.	Mittlere Dichte.	Fallraum eines frei fallenden Körpers in der ersten Secunde.
Sonne	345936	0,250	428,25 P. F.
Merkur	1.15	1,5	8,7
Venus	1.161	1,01	14,95
Erde	1.000000	1,00	15,1
Mars	0.129453	0,66	5,81
Vesta	0.000078	1,2	0,73
Juno	0.004078	0,53	2,13
Ceres	0.007559	0,16	2,85
Pallas	0.002815	0,94	0,64
Jupiter	303.14	0,239	37,59
Saturn	100.4	0,13	16,04
Uranus	16.9	0,185	12,7

80. Durch die hier betrachtete Gravitation bekommen die Himmelskörper ein Bestreben, sich der Sonne zu nähern. Zur Erklärung ihrer jährlichen Bewegungen ist aber noch eine zweite momentan wirkende Kraft, die Tangentialkraft nothwendig. Nimmt man an, daß ein Planet durch was immer für eine Ursache einen nicht durch seinen Mittelpunct gehenden Stoß erhalten habe; so hat er dadurch die zur Centralbewegung nöthige Tangentialbewegung und zugleich seine Axendrehung erlangt. Der Parallelismus seiner Axe während der jährlichen Bewegung folgt unmittelbar aus der Trägheit der Materie. (I. 304.)

Eilftes Kapitel.

Fixsterne. Größe des Weltalls.

81. Bei weitem der größte Theil der sichtbaren Sterne besteht aus Fixsternen. Um sie nur einigermaßen zu übersehen, hat man den ganzen Himmel gleichsam in Bezirke eingetheilt, die in jedem einzelnen vorkommenden Sterne Constellation oder Sternbild genannt, und jedes mit einem besonderen Namen bezeichnet, von dem sich aber durchaus nicht auf die Gestalt, der die Constellation ähnlich ist, schlie-

ßen läßt. Man lernt sie kennen, durch Sternkarten, Himmelsgloben, noch leichter aber durch Burja's Abbildungen, wo jedes Sternbild auf starkem Papier verzeichnet ist, worin die Sterne durch runde Löcher vorgestellt werden. Es gibt 106 Sternbilder, wovon 45 der nördlichen und 61 der südlichen Halbkugel angehören. (Eine nähere Beschreibung der Sternbilder findet man in Voigt's Lehrbuch der populären Sternkunde. Weimar 1799. S. 72 — 190. Bode's Anleitung zur Kenntniß des gestirnten Himmels. Berlin 1820. Neuer Himmelsatlas von Harding. Göttingen 1809. Atlas des gestirnten Himmels von J. J. v. Littrow. Stuttgart 1839.)

82. Der erste Blick auf den gestirnten Himmel lehrt schon, daß nicht alle Fixsterne gleich stark glänzen und daß einige derselben vorzugsweise stark leuchten, andere hingegen ein so schwaches Licht haben, daß man sie nur in sehr heiteren Nächten sieht. Die glänzendsten Sterne heißt man Sterne der ersten Größe, die nächstfolgenden Sterne der zweiten Größe u. s. f. Mit freiem Auge sieht man nur die Sterne der ersten sechs Größen. Sterne der ersten Größe gibt es 18, der zweiten 55, der dritten 197 2c. Die glänzendsten darunter sind Sirius im großen Hunde und Kanopus im Schiffe. Das Licht des ersteren ist nach Herschel 324mal stärker, als das eines Sternes der sechsten Größe. Die Anzahl der Sterne der folgenden Classen wächst mit der Zahl der Classen sehr rasch. Die ersten sechs Classen enthalten schon 5000, und die ersten eilf Classen nach Lalande 50,000 Sterne; die Sternenmenge der folgenden Classen ist unzählbar.

83. Die Entfernung der Fixsterne von der Erde ist so groß, daß sie nicht bloß von verschiedenen Puncten der Erde, sondern sogar von jedem Puncte der Erdbahn aus an derselben Stelle des Himmels erscheinen, und daher sowohl der Durchmesser der Erde, als jener der Erdbahn gegen ihre Entfernung verschwindet. Zahlreiche Bemühungen der Astronomen haben in dieser Beziehung zu keinem andern Resultate geführt, als zu der Ueberzeugung, daß die Fixsterne wohl eine wirkliche jährliche Parallaxe haben, und daß dieser zu Folge die geringste Entfernung eines Fixsternes von der Erde 200000 Sonnenweiten oder 4 Billionen Meilen sey. Eben so wenig wie die Entfernung läßt sich die Größe der Fixsterne bestimmen, da die einzigen hiezu führende Daten, scheinbare Größe und wirkliche Entfernung, nicht ausgemittelt werden können.

84. Nicht minder Erstaunen erregend ist die Anzahl der Fixsterne. Herschel konnte in der Gegend der Keule Orions in einem Streifen von 15° Länge und 2° Breite 50000 Sterne deutlich erkennen. Da dieser Streif der 1375ste Theil der Himmelssphäre ist, so müßte die ganze Oberfläche des Himmels 68750000 Sterne enthalten, wenn man annähme, daß sie überall eben so dicht beisammen stehen. Allein sie stehen an vielen Stellen noch viel dichter, und man kann ohne Uebertreibung annehmen, daß jede Quadratminute wenigstens einen Stern enthalte, und daher die Gesammtzahl der sichtbaren Sterne 148507200 sey. Allein dieses sind nur die nächsten Sterne, von den

weiter entfernten erkennt man nicht mehr als einen matten Schimmer; wie viele mögen aber bei der nur sehr unvollkommenen Durchsichtigkeit der Luft ganz unsichtbar seyn? Das unbewaffnete Auge sieht selbst in der heitersten Nacht nur den kleinsten Theil jener Sterne, welche man mittelst eines Fernrohres sieht, und da sebst die raumdurchdringende Kraft dieser Instrumente beschränkt ist, so können auch sie nur wieder die näheren Sterne sichtbar machen.

85. Die Sterne stehen am dichtesten in der sogenannten Milchstraße, welche den ganzen Sternenhimmel als eine Zone von ungleicher Breite, die sich an einigen Stellen in zwei Zonen theilt, fast in der Richtung eines größten Kreises umfaßt. Ihr milchiger Schimmer kommt von dem verworrenen Lichte einer zahllosen Menge von Sternen her; an den beiden Polen dieses Gürtels ist der Himmel am wenigsten mit Sternen besetzt, je mehr man sich aber davon entfernt, desto dichter erscheinen sie. Höchst wahrscheinlich bilden die Sterne der Milchstraße ein eigenes Sternensystem, dessen Mittelpunct nahe an unserem Sonnensysteme liegt, ein System, wie es deren mehrere, ja unzählige gibt. Man sieht nämlich an vielen Stellen des Himmels lichte Stellen, deren einige sich nur durch vorzügliche Fernröhre in einzelne Sterne auflösen lassen, und wieder andere, über welche selbst die besten Fernröhre nichts vermögen oder die sie nur wieder in nebelartige lichte Puncte auflösen. Man nennt sie Nebelflecken. Herschel hat deren über 3000 entdeckt. Auch ein solcher würde, gleich der Milchstraße, die Erde wie ein Gürtel zu umspannen scheinen, wenn diese sich innerhalb desselben und nicht weit von dessen Mittelpunct befände, und umgekehrt würde uns die Milchstraße, wenn wir uns um 100 ihrer Durchmesser außer ihr befänden, nur wie ein Nebelfleck von 17′ erscheinen.

86. Die Fixsterne müssen leuchtende Körper wie unsere Sonne seyn, weil sie von einer so großen Entfernung noch gesehen werden können, und ihr Licht unpolarisirt ist, wie nur das eines vom leuchtenden Körper direct kommende seyn kann. Sollten aber wohl diese Millionen Sonnen nicht auch von Planeten umgeben seyn, denen sie Licht und Wärme zusenden? Man kann füglich die Vermuthungen noch weiter treiben und es für wahrscheinlich halten, daß alle diese Sonnensysteme selbst wieder eine Bewegung um einen Centralkörper haben. Dieses machen vorzüglich jene Sterne wahrscheinlich, die durch Fernröhre als zwei oder gar als mehrere Sterne erscheinen, und daher Doppelsterne oder mehrfache Sterne heißen. Man kann annehmen, daß unter je 40 Fixsternen immer wenigstens ein Doppelstern sey. Die Entfernung der zwei Sterne eines Doppelsternes scheint verschieden. Es gibt deren viele mit einer Winkelentfernung von weniger als 2″ bis über eine halbe Minute. Fast immer ist einer der zwei Sterne leuchtender als der andere, und selbst bei den mehrfachen Sternen ragt einer in der Regel an Lichtstärke weit über die andern hervor. Von solchen Doppelsternen lehrt nun die Beobachtung, daß sich der kleinere, minder leuchtende um den leuchtenderen bewegt, und daß sie ein

durch Attraction verbundenes, besonderes System ausmachen. Dasselbe bemerkt man auch an den mehrfachen Sternen, wo sich eine ganze Gruppe von Sternen um einen Stern bewegt.

87. Merkwürdig sind die Veränderungen, die man an einzelnen Sternen bemerkt. Einige haben einen periodischen Lichtwechsel. So nimmt z. B. Algol innerhalb 69 Stunden an Lichtstärke ab und zu; ein Stern im Wallfische hat eine solche Periode von 332, ein anderer in der Wasserschlange eine von 494 Tagen. Man glaubt, diese Erscheinung komme von einer Axendrehung der Sterne, durch welche uns bald ein stärker, bald ein schwächer leuchtender Theil der Sternoberfläche zugewendet wird. Man hat auch schon Sterne bemerkt, die plötzlich hell leuchtend erscheinen, einige Zeit sichtbar bleiben, und dann eben so plötzlich wieder verschwinden. Von der Art war der Stern, welcher 1572 in der Cassiopea sichtbar wurde. Er erschien, übertraf bald alle andere Sterne an Lichtglanz, änderte seine Farbe öfters, und verschwand nach sechs Monaten, ohne seinen Platz am Himmel zu verändern. Jeder Firstern hat auch eine eigene Bewegung im Raume, die aber erst nach einer langen Reihe von Jahren bemerkbar wird. Ueber die Richtung und Größe dieser Bewegung läßt sich noch nichts Sicheres behaupten.

88. Aus allem Bisherigen geht hervor, daß das unendliche Heer der Himmelskörper aus mehreren Systemen bestehe, deren Theile durch das Gesetz der gegenseitigen Anziehung zu einem Ganzen vereiniget sind. Das kleinste dieser Systeme ist das der Trabanten und ihres Hauptplaneten, das nächst größere bilden die Planetensysteme, deren einem unsere Erde angehört. Millionen solcher Planetensysteme mit ihren Sonnen bewegen sich um einen größeren Centralkörper, und bilden wieder ein höheres System; eine ungemessene Zahl solcher Systeme erkennt wieder einen andern Centralkörper als Beherrscher, und bildet ein System, wovon unsere Milchstraße und vielleicht jeder Nebelfleck eines vorstellt, und so übersteigt der sichtbare Theil der Schöpfung schon die engen Grenzen unseres Verstandes, und doch ist er gewiß nur der Vorhof des unendlichen Tempels, dessen Größe unser Vorstellungsvermögen übersteigt. — Nähere Belehrung über diesen Abschnitt suche man außer den angeführten in folgenden Werken: *Astronomie par M. de Lalande. Paris* 1771—81. *Traité élémentaire d'astronomie physique par J. B. Biot. Paris* 1810. *Astronomie théorique et pratique par M. de Lambre. Paris* 1814. Astronomie von Bohnenberger. Tübingen 1811. Theoretische und practische Astronomie von Littrow. Wien 1821. *Traité de mécanique céleste par P. S. Laplace. Paris VII. Traité d'Astronomie théorique par Schubert. Pétersbourg* 1822. Populäre Astronomie von J. Littrow. Wien 1825. Populäre Astronomie von Frankenheim. 2. Aufl. Braunschweig 1829. Vorlesungen über Astronomie von J. J. Littrow. Wien 1830. Leicht faßliche Vorlesungen über Astronomie von Kunzek. Wien 1841. Populäre Astronomie von Dr. J. H. Mädler. Berlin 1841.

Zweiter Abschnitt.

Physische Geographie.

Erstes Kapitel.

Beschaffenheit der Erde im Allgemeinen.

89. Was über die Gestalt und Größe der Erde bekannt ist, enthält der erste Abschnitt dieses Theiles. Es ist aber überdieß noch die Dichte des Erdkörpers als physikalische Eigenschaft desselben bemerkenswerth. Diese hat Reich durch sorgfältige Wiederholung der zuerst von Cavendish mit der Drehwage angestellten Beobachtungen gleich 5.44 gefunden. Darnach ergibt sich das Gewicht des ganzen Erdkörpers gleich 13 Quadrillionen Pfund. So weit wir die Erdrinde kennen, läßt sich den oberen Schichten derselben keine größere Dichte, als 2.7 zuschreiben, und somit muß die Dichte der Erde gegen den Mittelpunct hin stark zunehmen. Es ist sogar unzuläßig vorauszusetzen, gleich weit vom Centrum der Erde abstehende Schichten haben eine gleiche Dichte.

Beachtenswerth ist der zuerst von Koosen bemerkte Umstand, daß, wenn man annimmt, die jetzt bekannten chemischen Grundstoffe kommen im Erdkörper im Verhältniß ihrer Atomengewichte vor, man die Dichte der Erde = 5.6, mithin nahe der von wirklichen Beobachtungen angegebenen Zahl findet. (Koosen in Erdmann's Journ. für pract. Chemie. 22. 490.)

90. Die Oberfläche der Erde ist größtentheils vom Meere bedeckt, das feste Land ragt aus dem Meere in Gestalt drei sehr großer und vieler kleineren Inseln hervor. Die größte darunter erstreckt sich von 73° nördlicher bis 30° südlicher Breite, reicht von 150°—360° der Länge, und umfaßt daher eine Ausdehnung von 103° in der Breite und von 210° in der Länge. Sie enthält Europa (phönizisch: Land der Weißen), Asien und Afrika (Sandland); die nächst kleinere ist Amerika, die dritte Australien. Von den größten Inseln der Erde, welche den Namen Welttheile führen, liegt nur Australien ganz in der südlichen Halbkugel, von den anderen hingegen befinden sich Europa ganz, Afrika und Amerika aber größtentheils in der nördlichen Halbkugel; überhaupt verhält sich in der südlichen Halbkugel die vom Meere bedeckte Fläche zum festen Lande wie 3 : 1, während dieses Verhältniß in der nördlichen nahe 3 : 2 ist, auch erstreckt sich das bekannte feste Land in der nördlichen Hemisphäre weiter gegen den Pol, als in der südlichen. Dagegen hat die südliche Erdhälfte vorzüglich viele kleine Inseln, besonders nahe am Aequator; die meisten liegen aber

einander sehr nahe, so daß sie immer ganze Gruppen bilden. Dieses zeigt sich besonders an der Südseite von Asien, wo sich die Inseln Ceylon, Sumatra, Borneo, Java, Celebes, Mindanao, Neuguinea, die Molucken, die Philippinen, die Freundschafts- und die Gesellschaftsinseln befinden.

91. Der Umriß des festen Landes und des Meeres ist nicht von der Art, daß man darin etwas Regelmäßiges, an ein mathematisches Gesetz Gebundenes wahrnehmen könnte. Nur das haben alle Continente mit einander gemein, daß sie gegen Süden in eine hohe felsige Spitze auslaufen. Jede dieser Spitzen ist das äußerste Ende eines plötzlich abbrechenden, nordwärts laufenden Gebirgszuges. Jeder größere Continent hat an der Ostseite seiner Südspitze mehrere Inseln. Die Continente der alten und neuen Welt hängen durch Landengen zusammen. Uebrigens unterscheiden sich die Hauptländermassen, die sogenannten Welttheile, durch ihre Gestalt auf eine sehr merkwürdige, mit der Entwicklung der Cultur des Menschen in Beziehung stehende Weise von einander: Asien und das damit zusammenhängende Europa dehnt sich vorzugsweise von Ost nach West, Amerika hauptsächlich von Nord nach Süd aus, während Afrika nach allen Richtungen fast gleich ausgedehnt ist. Die Längenausdehnung Europa's und Asiens erstreckt sich von 1° — 200° östlicher Länge, jene Afrika's umfaßt nur 43°, die von Amerika etwa 120 Längengrade, während sich Asien nicht auf 90°, Europa gar nicht einmal auf 60° der Breite nach erstreckt, Amerika aber in dieser Richtung über 128°, also über ein Drittel des Erdumfanges einnimmt. Afrika hat die abgeschlossenste Gestalt und eine sehr einförmige Küstenperipherie ohne Einschnitte und Buchten, es hat im Verhältnisse seiner Oberfläche nur eine kleine Berührung mit dem Ocean. Asien hat besonders an seinen Ost- und Westküsten weit vorspringende Landzungen und große Einschnitte. Es hat um ein Viertel mehr Flächeninhalt als Afrika, und eine fast doppelt so große Küstenlänge als dieses. Europa hat die mannigfaltigst gestalteten Küsten, viele Landzungen und Halbinseln, es hat viermal weniger Flächenraum und doch mehr Küstenlänge als Afrika. Amerika endlich vereiniget in sich die Gestaltung Afrika's und Asiens. Südamerika ist am meisten mit Afrika, Nordamerika mit Asien übereinstimmend. Die Inseln zerfallen in Betreff ihrer Gestalt in langgestreckte und runde. Erstere liegen meistens reihenweise hinter einander, bilden gewissermaßen zusammengehörige Ketten, und haben im Innern meistens Bergreihen, die mit der Hauptausdehnung des Ganzen parallel laufen. Sie können als Splitter der ihnen nächsten größeren Continente angesehen werden. Die runden Inseln sind selbstständige Formationen ohne jene Bergketten, und entweder hoch über dem Meere erhoben, mit einer Haupterhöhung im Innern, oder nur wenig über die Oberfläche des Wassers hervorragend; letztere sind durchaus Werke der Korallenthiere.

Zweites Kapitel.

Gewässer der Erde.

92. Der größte Theil des Wassers, welches den Erdboden bedeckt, bildet eine große zusammenhängende Masse, das Weltmeer, und nur ein kleiner Theil desselben ist über dem Festlande vertheilt, und bildet mehr oder weniger bedeutende Ansammlungen desselben, und zwar Quellen, Bäche, Flüsse, Ströme und Seen. Alles Wasser der Erde ist in einem beständigen Kreislaufe begriffen. Es wird durch die Wärme in Dünste verwandelt, steigt gegen Himmel und bildet die Wolken, fällt von diesen wieder als Regen, Schnee, Hagel ꝛc. herab, dringt in die Erde ein, erscheint wieder auf ihrer Oberfläche, und wird zuletzt dem Meere, als dem allgemeinen Wasserbehälter, zugeführt.

93. Die Anfänge der fließenden Wässer auf der Erde bilden die Quellen. Sie entspringen vorzugsweise an höher gelegenen Orten, jedoch nicht an den höchsten Puncten der Erdoberfläche. Es können mehrere Ursachen Quellen erzeugen, und sich sogar bei derselben Quelle mehrere zugleich wirksam beweisen. Am wirksamsten erscheint in dieser Hinsicht das aus der Atmosphäre gefallene Wasser. Dieses dringt in die Felsenritzen ein, fließt darin fort, bis es einen Widerstand findet, wird hydrostatisch gehoben, und kommt daher an Stellen zum Vorscheine, wo es die Beschaffenheit des Bodens gestattet. Auch das durchgesinterte und zum Theile durch Druck, zum Theile durch Capillarität gehobene Meerwasser kann einigen Quellen Nahrung geben; allein Quellen dieser Art müssen sich durch ihr salziges Wasser von den andern unterscheiden, weil das Meerwasser durch bloßes Aufsteigen, so es auch durch die feinsten Spalten und Ritzen, von den chemisch damit vereinigten Stoffen nicht befreit werden kann; auch können solche Quellen nicht hoch über dem Meeresspiegel liegen. Weil sich im Innern der Erde viele ausgebreitete Wasserbehälter befinden müssen, so ist es auch denkbar, daß die durch Beschaffenheit der Erde oder durch locale Ursachen bewirkte Erwärmung das Wasser zum Verdünsten bringe; die Dünste steigen in die Höhe, gehen durch Erkaltung wieder in tropfbaren Zustand über, und kommen in solchem zum Vorscheine. Es kann auch der Fall eintreten, daß das in der Erde vorhandene Wasser durch die Kraft eines expansiblen Körpers herausgetrieben wird, und so nicht nur eine Quelle überhaupt, sondern sogar einen völligen Springbrunnen bildet.

94. Die verschiedenen Quellen unterscheiden sich von einander durch die Menge, Beschaffenheit und Temperatur ihres Wassers und durch ihre Beständigkeit oder ihren Wechsel. Einige Quellen fließen ununterbrochen, und man bemerkt durchaus keine regelmäßige Ab- und Zunahme ihres Wassers; dieses ist besonders bei den gebohrten (artesischen) Springquellen der Fall, deren Wasserbehälter sehr tief liegt und von dem atmosphärischen Einflusse nur

wenig afficirt wird. Die meisten Quellen erleiden aber durch den Einfluß der Witterung und der Jahreszeiten Aenderungen ihres Wasserreichthums. Quellen, welche bloß vom Nebel und Regen gespeiset werden, nehmen in heißen Sommern allmälig ab, und treten mit dem Beginne der feuchten und regnerischen Jahreszeit wieder mit erneuerter Kraft ein; jene, welche ihr Wasser dem geschmolzenen Schnee der Gebirge verdanken, haben wieder im Sommer, wo der Schnee schmilzt, den meisten Zufluß; andere stehen mit dem Charakter der herrschenden Witterung in Verbindung (wetterlaunige Quellen), und wieder andere fließen bestimmte Stunden oder Tage und setzen eben so eine bestimmte Zeit hindurch aus, ohne von der Jahreszeit oder Witterung afficirt zu werden.

Zwei Quellen bei Wallis in Graubündten, die nur ungefähr 25 Schritte von einander entfernt sind, fließen nur vom Anfange April bis in den Herbst; eine andere im Canton Bern, der sogenannte Engstlerbrunnen, fließt von der Mitte Mai bis in die Mitte August, allein nur von 4 Uhr Nachmittags bis etwa 8 Uhr Morgens. In Peru auf dem Berge Piro soll eine Quelle seyn, die nur Nachts läuft, wenn es nicht zuvor geregnet hat. Eine Quelle bei Fontestorbe in den Pyrenäen soll in den Sommermonaten 36½ Minuten fließen, dann 32½ Minuten aussetzen, und nur eintretender Regen soll einen ununterbrochenen Fluß bewirken. Eine andere bei Nismes gibt in 10 Stunden zweimal Wasser, sie fließt 7 Stunden lang und setzt dann durch 3 Stunden aus. Das Wasser der Quelle in Plinius Landhause bei Como nimmt des Tages dreimal ab und zu. Dieses periodische Fließen hat wahrscheinlich darin seinen Grund, daß sich im Innern der Erde ein Wasserbehälter befindet, der mittelst eines gekrümmten Hebers mit dem Ausflußorte der Quelle in Verbindung steht, wo dann natürlich die Heberwirkung nicht eher beginnen kann, als bis das Wasser im Bassin so hoch steht, daß der Heber gefüllt ist, sobald aber dieses geschieht, läuft es ganz aus. Die berühmtesten periodisch fließenden Quellen hat Island an seinen Springquellen aufzuweisen. Aber die große Anzahl aller hier vorkommenden wird vom sogenannten Geiser übertroffen, der sich zwei Tagreisen vom Hekla befindet. Es ist hier eine natürliche Röhre von 19 Fuß im Durchmesser und von unbekannter Tiefe, über welcher sich das Wasser ein Becken gemacht hat, dessen oberer Rand 9 Fuß hoch ist, und 56 Fuß im Durchmesser hat. Durch diese Röhre springt das Wasser siedend heiß verschiedene Male des Tages auf eine Höhe von 90 Fuß, und führt oft Steine mit sich auf eine bedeutende Höhe. Daß hier vulcanische Wirkung im Spiele sey, erleidet wohl keinen Zweifel.

95. Die Temperatur der meisten Quellen stimmt in der Regel mit der mittleren des Ortes überein, wo sie entspringen; nur in geringen Breiten ist sie etwas niederer als die des Ortes, in großen Breiten hingegen wieder etwas höher. Es gibt aber doch Quellen, deren Temperatur von der Wärme der Luft unabhängig ist; am merkwürdigsten sind jene, deren Temperatur viel höher ist als jene der Luft, weil sie häufig als Heilmittel gebraucht werden. Einige sind stets wärmer als die Luft, andere kälter.

Auf dem Berge Pila in Frankreich befindet sich Wasser, welches das ganze Jahr hindurch so kalt ist, daß man es nicht trinken kann; eine ähnliche Wassersammlung befindet sich auf dem Berge Genevre. Me-

devi am Wettersee in Schweden hält unveränderlich eine Wärme von 6½°. Uebrigens versteht es sich von selbst, daß eine Quelle, die eine beständige Temperatur hat, welche der mittleren Wärme der Luft gleich ist, im Sommer kälter, im Winter wärmer erscheint als die Luft. Die warmen Quellen erhalten ihre Wärme durch örtliche Ursachen, und sind in der Regel Eigenthum vulcanischer Gegenden. Die vorzüglichsten heißen Quellen sind die in Island, zu Karlsbad, Aachen, Baden bei Wien, Gastein im Salzburgischen, Abano bei Padua, Plombiers in Lothringen, Barege und Bagneres in den Pyrenäen, Aix in Savoyen, Bath in England, Mehadia in Ungarn. Die Temperatur warmer Quellen ist verschieden. Einige sind nur lau, eine Quelle zu Abano bei Padua hat 79° R., eine bei Oelve auf Island 8°, der Sprudel in Karlsbad 55°, die Quelle zu Bath 45°, die heißeste von Aachen 40°, von Barege 38¾°, in Gastein 38°, in Plombieres 30°.4—53° 6. Einige dieser Quellen haben, so weit unsere Wärmemessungen reichen, immer dieselbe Temperatur gehabt, die sie jetzt haben; andere sind von ihrem Wärmegrade sehr abgewichen, besonders zur Zeit vulcanischer Ereignisse.

96. Da das Wasser in der Erde, bevor es einen Ausgang findet, durch Gebirgsmassen fließen muß, welche mancherlei auflösliche Stoffe enthalten; so muß es mit verschiedenen Substanzen geschwängert hervortreten. Am reinsten ist das Quellwasser, welches aus Granit- oder Sandgebirgen hervorkommt, ohne jedoch so rein zu seyn, wie das Regenwasser. Dasjenige hingegen, welches durch Kalkgebirge oder Gipslager fließt, nimmt von diesen Substanzen mehr oder weniger auf, bekommt dadurch einen eigenthümlichen Geschmack und wird hart. Wasser, das sehr viele mineralische Bestandtheile enthält, heißt Mineralwasser. Wiewohl das meiste Quellwasser einen Antheil kohlensaurer Luft mit sich führt, so gibt es doch einiges, das vorzüglich viel davon enthält, dadurch einen säuerlichen Geschmack annimmt, und deßhalb Sauerbrunnen heißt. Solche Wässer enthalten auch immer einen solchen Bestandtheil, der sich mit der kohlensauren Luft verbindet.

Sauerbrunnen mit kohlensauren Alkalien sind die zu Eger, Teplitz, Pyrmont, Bilin, Marienbrunn; mit kohlensaurem Eisen die zu Bilin, Selters, Spaa, Johannesbrunn etc. Einige Wasser enthalten vorzüglich viel Kochsalz, wie die unzähligen sogenannten Salzquellen, oder andere salzsaure Salze, wie z. B. bei Erfurt, Wiesbaden; andere enthalten Bittersalz (schwefelsaure Bittererde) aufgelöst, wie z. B. das Seidschützer, Sedlitzer; andere Glaubersalz, wie das Pilnaer Wasser in Böhmen; andere verbreiten ringsum einen schwefeligen Geruch von enthaltener Schwefelleber (Schwefelkali), wie z. B das Badnerwasser, der Stinkbrunnen zu Marienbrunn, das Aachener und Weilbacher Bad. Seifenartige Wasser befinden sich bei Plombiers; solche, die schwefelsaures Kupfer enthalten, bei Neusohl in Ungarn, bei Altenburg im Erzgebirge, bei Fahlun in Schweden. Sie verwandeln scheinbar Eisen in Kupfer, weil sich das Eisen in der Schwefelsäure des Wassers auflöset und dafür das Kupfer zurückbleibt. Die Kalk- und Kieselsinter führenden und meistens heißen Wässer haben die Eigenschaft, hineingelegte Sachen mit einer Rinde zu überziehen und gleichsam zu versteinern. Von der Art ist besonders das Karlsbader Wasser, das bei Tours und bei Tivoli. Merkwürdig ist in dieser Hinsicht die Quelle

von Quanca velica, 30 Meilen von Lima in Südamerika. Diese breitet sich über das nächste Land aus, und verhärtet selbst zu einem gelblichen Steine, den man von jeder beliebigen Form haben und dann zum Baue verwenden kann, wenn man dienliche Formen mit diesem Wasser füllt und sie einige Zeit ruhig stehen läßt.

97. Daß aus der Erde hervorquellendes Wasser häufig solche Stoffe mechanisch mit sich fortreißen müsse, die es nicht chemisch aufzulösen vermag, ist wohl begreiflich. Solche Substanzen setzen sich aber, nachdem das Wasser in Ruhe gekommen, von selbst wieder ab, während man zur Bestimmung der chemisch vereinigten besonders feiner chemischer Kunstgriffe bedarf. Unter allen solchen mechanisch mit dem Wasser gemengten Stoffen sind die brennbaren am merkwürdigsten, welche unter dem Namen Steinöhl und Naphta bekannt sind.

Die Hauptgegend, wo sich letztere Stoffe in Quellen befinden, ist unweit der persischen Stadt Baku. Sie schwimmen als specifisch leichtere Körper auf dem Wasser der Quelle, das man in eigene Behälter leitet, um sie abschöpfen und als Handelsartikel veräußern zu können. Oft entzündet sich die Naphta selbst, und dann erscheint die ganze Wasserfläche brennend; noch öfter wird sie absichtlich in Flammen gesetzt. An einigen Orten kommt sie ohne Wasser zum Vorschein, wie dieses am sogenannten Feuerorte der Fall ist, den die Perser für heilig halten. Daselbst erscheinen bei trockener Witterung starke, gelblichblaue Flammen, die man mittelst eines Fächers auslöschen kann. Die armen Bewohner der dortigen Gegend brauchen daher nur ein Rohr in den festgestampften Lehmboden ihrer Hütten zu stecken und seinem oberen Ende ein brennendes Papier zu nähern, um eine dauernde, etwa 1/2 Fuß hohe Flamme zu erhalten, die ihnen zu ihren Arbeiten Licht gibt. In China hat man eigens angelegte (gebohrte) Brunnen von 1000 bis 2000 Fuß Tiefe und 5 bis 6 Zoll Oeffnung, die Wasser mit viel Salzgehalt und zugleich brennbares Gas liefern, das man in Röhren fortleiten und zur Beleuchtung benutzen kann. (Zeitschr. n. F. 2. 284.)

98. Das Wasser fließt von den Quellen vermöge seiner Schwere in tiefer gelegene Stellen, vereinigt sich zu **Bächen** und endlich zu **Flüssen** und **Strömen**, wovon sich letztere ins Meer ergießen, mithin ihren ursprünglichen Namen vom Ursprunge bis zum Ausflusse ins Meer behalten. Die Quellen der meisten Flüsse liegen in sehr hohen Gebirgen. Wenn auch einige Flüsse, wie z. B. der Don, der Tigris, der Hoangho aus Seen hervorfließen; so bekommen doch diese ihr Wasser von Quellen, und man kann den Ursprung der Flüsse aus Quellen für ein allgemeines Gesetz halten.

99. Der Weg eines Flusses verfolgt immer die niedrigsten Stellen der Erdoberfläche. Da nun diese nicht in einer geraden Linie liegen, so muß auch die Richtung seines Laufes verschieden seyn, und sein Bett muß mancherlei Krümmungen machen. Im Allgemeinen nimmt die Anzahl dieser Krümmungen gegen den Ausfluß hin zu. Ungeachtet der vielfältigen Krümmungen eines Flußbettes hat doch der größte Theil einerlei Strich, und es ist auffallend, daß bedeutende Flüsse in ihrem Laufe mehr nach Ost und West, als nach Nord und Süd gerichtet sind.

100. Die **Neigung** des Bettes gegen den Horizont, oder dessen **Gefälle**, ist bei den verschiedenen Flüssen verschieden, ja selbst derselbe Fluß hat nicht an allen Stellen denselben Abhang des Bettes. In der Regel ist das Gefälle großer Flüsse gegen den Ursprung hin am größten, gegen den Ausfluß am kleinsten. Ueberhaupt ist ein Flußbett nicht wie eine mathematische geneigte Ebene anzusehen, sondern es gibt da eben so, wie auf dem festen Lande, Anhöhen und Vertiefungen, nur ist die Summe der ersteren kleiner als jene der letzteren, und die Differenz beider Summen gibt das eigentliche Gefälle. Das Gefälle wird oft durch jähe Abstürze und durch aufstauende Felsen unterbrochen.

101. Die **Breite** des Flußbettes ist so veränderlich wie die Beschaffenheit der Gegend, wodurch es geht. Oft engen es Gebirge bedeutend ein, und bewirken dadurch ein Aufsteigen des Wassers. Gegen den Ausfluß erweitert sich gewöhnlich das Flußbett bedeutend, und theilt sich auch nicht selten in mehrere Arme, deren Anzahl durch abgesetzten Sand oft vermindert wird. Die Verengungen des Flußbettes befinden sich in der Regel immer da, wo es von Felsenmassen durchzogen wird, die Katarakten oder Wirbel erzeugen.

102. Die **Wassermenge**, welche ein Fluß führt, ist in der Regel desto größer, je länger sein Lauf ist, und je mehr Nebenflüsse oder Bäche er aufnimmt. Unter allen Flüssen der Welt sind die amerikanischen die größten. Die Wassermenge eines Flusses ist nicht immer gleich groß. Durch das Schmelzen des Schnees oder durch häufige Regengüsse schwellen die Flüsse an, treten manchmal sogar über ihr Bett hinaus und überschwemmen das Land. Dieses ist besonders bei solchen Flüssen der Fall, in die sich viele Nebenflüsse ergießen. Am merkwürdigsten sind aber jene Ueberschwemmungen, die immer zu bestimmten Zeiten eintreten, und von denen oft die Fruchtbarkeit des Bodens abhängt, wie beim Nil. Die Ursache dieser periodischen Erscheinung liegt in den Regengüssen, welche auf dem Mondgebirge und im abessinischen Hochlande, wo die Quellen des Nils liegen, vom April bis September dauern. Aehnliche, wenn auch nicht so segenreiche Ueberschwemmungen verursacht auch der Ganges, der Euphrat, der Indus, der Missisippi und Laplata.

103. Die **Geschwindigkeit**, mit welcher das Wasser in Flüssen fortschreitet, hängt hauptsächlich vom Gefälle ab, und ist in dieser Hinsicht wie die Bewegung über eine schiefe Ebene zu betrachten. Allein die Geschwindigkeit nimmt nicht beständig zu, wie dieses bei einer ununterbrochenen schiefen Ebene der Fall ist, weil auch das Flußbett dem Laufe des Wassers viele Hindernisse in den Weg setzt, die Neigung deßhalb an vielen Stellen Unterbrechungen erleidet, viele die Geschwindigkeit hemmende Serpentinen vorhanden sind, und sich oft ein anderer Fluß einmündet, dessen Richtung mit jener des Hauptflusses einen zu großen Winkel macht. Indeß nimmt doch die Geschwindigkeit solcher Flüsse, die eine ziemliche Strecke gerade fortlaufen, wie dieses bei den amerikanischen fast durchaus, und bei den europäischen

nahe am Ausflusse der Fall ist, mit dem durchlaufenen Wege zu. Das Wasser hat auch nicht in allen Theilen eines Querschnittes dieselbe Geschwindigkeit. Ohne alle Hindernisse der Bewegung würde die Geschwindigkeit mit der Tiefe zunehmen, und ein Fluß müßte am Boden die größte Geschwindigkeit haben; allein wegen der Ungleichheit des Bodens befindet sich die größte Geschwindigkeit immer nahe an der Oberfläche. Eben so ist die Geschwindigkeit an verschiedenen Puncten der Breite verschieden, woran wohl die Hindernisse, welche die Ufer dem Flusse in den Weg setzen, den größten Antheil haben. Man nennt den Ort, wo die Geschwindigkeit am größten ist, den Stromstrich. Dieser befindet sich bei geraden Ufern meistens in der Mitte, bei gekrümmten ist er aber dem hohlen Ufer am nächsten. Da bei einem Flusse, der weder im Anschwellen, noch Abnehmen begriffen ist, durch jeden Querschnitt gleich viel Wasser fließen muß, wenn sich nicht inzwischen ein anderes Gewässer in ihn ergießt; so muß seine mittlere Geschwindigkeit desto größer seyn, je enger das Flußbett ist.

Der Connecticut hat dort, wo er durch Felsen sehr eingeengt wird, eine solche Geschwindigkeit daß er die schwersten Metalle mit sich fortreißt, ohne sie untergehen zu lassen, und daß man selbst mit Gewalt kein Brecheisen ins Wasser stoßen kann. Aus diesem Grunde vermehren Brücken, Wehren, Separationswerke u. s. w. die Geschwindigkeit der Flüsse so sehr. Die schnellsten Flüsse des Erdbodens sind die Donau, der Indus, der Tigris und der Amazonenfluß. Erstere hat im unteren Theile ihres Laufes 5 F., letzterer gar 7 F. Geschwindigkeit. Um sich die große Geschwindigkeit der Donau erklären zu können, muß man ihren langen Lauf von 250 Meilen in Betrachtung ziehen und bedenken, daß sie, ungeachtet ihre Quelle nicht hoch liegt, doch viele an hohen Orten entspringende Flüsse aufnimmt, wie z. B. den Inn, die Drau u. d. m.

104. Die Oberfläche des Wassers eines Flusses ist nicht eben, sondern convex oder hohl. Ersteres findet bei Flüssen Statt, die in der Strombahn bedeutend schneller fließen, als in den übrigen Theilen, letzteres bemerkt man beim Auslaufe der Flüsse ins Meer, wenn die Meeresfluth in ihr Gebiet eindringt; denn da vermindert sie die Geschwindigkeit des Wassers außerhalb des Stromstriches weniger als im Stromstriche, und macht, daß jenes höher steht als dieses.

105. Das Flußwasser ist so wenig rein als irgend ein Quellwasser, jedoch gibt es keinen Fluß, der ein mineralisches Wasser führt, wenn man einige kleine Bäche im russischen Reiche und ein Paar Flüsse in Nordafrika ausnimmt, die Kochsalz führen, und wovon einige so salzig sind, daß ihr Wasser gar nicht getrunken werden kann. Die Bestandtheile, welche das Wasser mit sich führt, kommen vom Boden des Flußbettes her, werden bei einem schnellen Laufe zum Theile mechanisch mit fortgerissen und bei geringer Geschwindigkeit wieder abgesetzt. Von solchen Theilchen hat dann auch das Wasser seine Farbe.

Das hellste Wasser führt der Euphrat, Ganges und die Themse; der Nil hat ein weißes Wasser, wenn er nicht hoch steht, der Hoangho in China ist gelb; nach Humboldt gibt es in Amerika einige kaffeh-

braune Flüsse. Manche Flüsse führen Gold in ihrem Sande, wie z. B. der Po, die Aar, die Phasis in Asien, und besonders die Flüsse in Guinea.

106. Es wäre sehr interessant, die Wassermenge zu kennen, welche alle Flüsse zusammen ins Meer tragen. Um diese zu finden, müßte man die mittlere Geschwindigkeit und den Durchschnitt jedes Flusses genau kennen, was aber jetzt bei weitem noch nicht der Fall ist. Um genäherte Resultate zu erhalten, setzt man diese Wassermenge den Stromgebieten proportional, d. i. dem Flächeninhalte der Gegend, die ihnen Wasser zusendet. Diese findet man 250mal größer als die des Rheins, von dem man aus Messungen weiß, daß im Mittel durch seinen Querschnitt am Niederrhein jährlich 0,1959 Kubikmeilen Wasser fließen. Hiedurch erhält man für die Wassermenge aller Flüsse den genäherten Werth von ungefähr 49 K. Meilen, welchen man wegen häufigem Anschwellen der Flüsse wohl auf 75 erhöhen kann.

Die Erfahrung lehrt die Stromgebiete in geogr. Meilen, wie folgt:

Amazonenstrom	88,305	Don	6,088
Plata	71,665	Weichsel	3,578
Lorenzstrom	62,330	Duero	1,638
Mississippi	53,636	Tago	1,327
Ob	63,776	Seine	1,236
Jenisei	47,000	Loire	2,378
Lena	36,483	Garonne	1,433
Amur	53,559	Po	1,410
Hoangho	33,686	Trent	0,439
Ganges	22,224	Donau	4,412
Wolga	30,154	Rhein	3,598
Nil	32,620	Weser	0,874
Senegal	25,614	Elbe	2,800
Dwina	5,890	Oder	2,072

107. Wenn das Wasser wegen der zu tiefen örtlichen Lage nicht abfließen kann, so bildet es einen See oder Sumpf. Ersteres findet dann Statt, wenn das Wasser eine beträchtliche Ausdehnung und eine so große Tiefe hat, daß Wasserpflanzen die Ebene der Oberfläche nicht zu häufig unterbrechen: letzteres hingegen, wenn die Oberfläche größtentheils durch Gewächse, die am Boden wachsen, unterbrochen ist.

108. Das Entstehen eines Sees kann man sich auf mannigfaltige Art erklären, und die Richtigkeit dieser Erklärungsarten an verschiedenen Wassersammlungen nachweisen. Entsteht eine sehr wasserreiche Quelle, die durch einen starken Druck herausgetrieben wird, in einer kesselförmigen Vertiefung; so muß das Wasser den Kessel so weit ausfüllen, bis es einen Abfluß findet, oder bis die Oberfläche so weit vergrößert wird, um durch Verdünstung so viel Wasser zu verlieren, als die Quelle zuführt. Solche Seen gibt es in vielen Gebirgsgegenden, und aus ihnen kommen oft die namhaftesten Flüsse hervor. Es kann auch geschehen, daß ein Fluß in einer Gegend in eine ähnliche kesselförmige Vertiefung kommt, wo er sich ausbreiten und so eine örtliche, einen kleinen See vorstellende Erweiterung

seines Bettes erleiden muß, oder daß er in seinem Laufe auf Hindernisse geräth, die eine Anschwellung des Wassers, und dadurch einen See erzeugen. Hier kann das Wasser, wenn es eine große Höhe erreicht hat, wieder abfließen, so daß es den Anschein hat, als wenn der Fluß durch den von ihm unabhängig existirenden See ginge, oder es kann die Wassermasse so viel an Oberfläche gewinnen, daß der Verlust durch Verdünstung und der Zufluß durch den Strom sich das Gleichgewicht halten. Im ersten Falle hat der See Zufluß und Abfluß, im zweiten Falle nimmt er auf sichtbarem Wege Wasser auf, hat aber keinen bemerkbaren Abfluß. Schon mancher See ist durch einen Erdfall, durch einen vulcanischen Ausbruch oder durch Ueberschwemmungen entstanden.

In die Reihe der Seen der ersten Art gehört der Genfersee, durch den die Rhone fließt, der Kostnitzer See, den der Rhein durchströmt, im österreichischen Salzkammergute der Trau- und Hallstädtersee. Nordamerika hat deren sehr viele aufzuweisen. In die zweite zählt man den ungeheuren See, der gewöhnlich das caspische Meer genannt wird, den Aralsee, das todte Meer u. s. f. Ersterer nimmt die Wolga, den Jaik und Emba, letzteres den Jordan auf, ohne einen sichtbaren Abfluß zu haben. Ostfriesland hat noch jetzt einen unterirdischen See, der mit einer festen Erdrinde überzogen ist. Stürzt diese ein, so ist die Anzahl der Seen wieder um einen vermehrt. In Calabrien entstanden beim Erdbeben im Jahre 1753 über 100 Seen. Der See Averno bei Puzzuolo verdankt einem eingestürzten Vulcane sein Entstehen.

109. Die Seen sind auf der Erde verschieden vertheilt, kommen jedoch in gemäßigten und kalten Gegenden häufiger vor, als in heißen, wahrscheinlich weil daselbst die Verdünstung durch die höhere Temperatur so sehr begünstigt wird, daß ihr ein Zufluß aus Quellen oder Flüssen nicht so leicht das Gleichgewicht halten kann. Es ist kaum zu bezweifeln, daß die Seen ehemals in einer größeren Anzahl vorhanden waren, als jetzt. So scheint Böhmen ein ausgetrockneter Seegrund zu seyn. Nach Herodot war ganz Thessalien ein von Bergen umschlossenes Gewässer. Das Verschwinden der Seen kommt wahrscheinlich auf Rechnung der Gebirgsdurchbrüche, durch welche sich das Wasser einen Ablauf bildete.

110. Die Größe und Gestalt der Seen ist sehr mannigfaltig. Der caspische See ist einer der größten auf der Erde. Sein Flächeninhalt beträgt 5000 — 6000 Quadratmeilen. Von großer Ausdehnung ist auch der Baikal- und Aralsee in Asien, der Wenner- und Wettersee in Schweden, der Ladoga- und Onegasee in Rußland. Bei den meisten Seen ist eine Dimension gegen die andere vorwaltend, besonders bei denen, welche in Gebirgsgegenden vorkommen. Die im flachen Lande nähern sich mehr der Kreisform.

111. Einige Seen haben eine ungeheure Tiefe, doch ist diese eben so wenig unveränderlich als die eines Flusses. Gebirgsseen nehmen zur Regenzeit bedeutend zu. Einige entleeren sich gar periodisch, und füllen sich dann wieder, wie dieses beim Zirknitzersee in Krain der Fall ist.

112. Das Seewasser ist nicht rein, sondern enthält die mannigfaltigsten chemisch aufgelösten und mechanisch beigemengten Stoffe. Einige, wiewohl die wenigsten Seen führen eine bedeutende Menge aufgelöstes Kochsalz, wie z. B. der caspische See, und viele im nördlichen Asien. Einige Seen in Ungarn führen Natrum. Das sogenannte todte Meer enthält, außer einer sehr bedeutenden Menge Kochsalz, auch noch insbesondere das sogenannte Judenpech. Dieses steigt vom Boden des Sees in die Höhe, nachdem Rauchsäulen und übelriechende Ausdünstungen seine Ankunft verkündigt haben, welche große vulcanische Thätigkeit vermuthen lassen.

113. Sümpfe und Moräste entstehen nur da, wo die Beschaffenheit des Bodens und der Zufluß nicht so beschaffen ist, daß sich ein See bilden könnte, und doch das Wasser nicht ablaufen kann. Die meisten Sümpfe hat Afrika aufzuweisen. Moräste gibt es im nördlichen Europa in großer Menge und Ausdehnung. An vielen Stellen zieht man daraus Bäume hervor und gewinnt Torf.

114. Das Weltmeer ist die ungeheure Wassersammlung, welche ein unter sich zusammenhängendes Ganzes ausmacht und das feste Land von allen Seiten umgibt. Es dringt vielfältig in das feste Land ein und bildet Arme, die man Meerbusen nennt, wohl auch große Binnenmeere, hat in seinen Theilen verschiedene Benennungen, welche von angrenzenden Ländern, von ihrer Lage gegen die Weltgegenden, wohl auch von minder wesentlichen Merkmalen hergenommen sind, und überhaupt viel Willkürliches an sich haben. Die vorzüglichsten Theile des Weltmeeres sind: 1) Das atlantische Meer, zwischen Europa und Nordamerika bis zum nördlichen Polarkreise; 2) das äthiopische Meer, zwischen Afrika und Südamerika; 3) das indische Meer, zwischen den beiden Halbinseln Indien und der Ostküste Afrika's; 4) das stille Meer von der östlichen Grenze des indischen Meeres bis zur Westküste von Amerika; 5) das nördliche Eismeer, vom Nordpole bis an die Nordküsten von Europa, Asien und Amerika; 6) das südliche Eismeer, vom Südpole bis zum äthiopischen, indischen und stillen Meere. Die vorzüglichsten Meerbusen sind das mittelländische Meer, das selbst wieder als besondere Meerbusen das adriatische und schwarze Meer bildet, die Ostsee, das weiße Meer, das rothe Meer (arabischer Meerbusen), der persische Meerbusen, die Meerbusen von Bengalen und Siam, von Cochinchina und Kamtschatka (Ochotzker Meer) und von Californien, der mexicanische Meerbusen, die Baffins- und Hudsonsbai 2c.

115. Die Seiten des Meerbeckens, welche man insgemein Küsten nennt, erheben sich an vielen Orten weit über die Fläche des Meeres und fallen steil gegen das Wasser ab, an anderen sind sie nicht viel höher als der Wasserstand. Hohe, schroffe, felsige Küsten sind meistens dort, wo das Meer tief und sehr stürmisch ist, sie sind aber wahrscheinlich durch das Meer selbst erzeugt, indem das Land so lange weggeschwemmt und untergraben wurde, bis Felsen dem weiteren Vordringen ein Ende machten. Durch allmälige Vergrößerung schließen

sie sich an die Küsten unmittelbar an, und werden zu einem eigentlichen Gestade. Von diesen muß aber der sogenannte Strand unterschieden werden, d. i. derjenige Theil des Meerufers, der nur bei niedrigem Wasser aus demselben hervorragt, bei hohem aber von demselben überdeckt wird und den landenden Schiffen große Gefahr bringt. Ein Strand kann durch günstige Umstände zu einer Düne und endlich gar zu festem Gestade werden. Es ist merkwürdig, daß nicht der Wasserspiegel aller Wassersammlungen in derselben Höhe liegt. Erwiesenermaßen befindet sich schon der Spiegel des caspischen Meeres um 76 P. F. tiefer als jener des Oceans, und jener des todten Meeres um 1250 F. tiefer als der Spiegel des mittelländischen Meeres.

Die höchste bekannte Küste der Erde ist die an der Westseite von St. Kilda, eine der hebridischen Inseln; ihre Höhe beträgt gegen 600 F. über die Meeresfläche. Die norwegischen Ufer sind auch fast durchgängig steil und hoch. Zu den niedrigsten Küsten gehören jene von Holland, die eigentlich durch Kunst dem Meere abgewonnen wurden und beinahe niedriger als das Wasser sind. Niedrige Ufer haben oft in der Nähe lange, über den Wasserstand hervorragende Sandhügel, welche durch das Meer oder durch Flüsse angeschwemmt wurden und Dünen heißen.

116. Der Meeresboden ist im Ganzen wenig bekannt. Es läßt sich aber ohne weitere Untersuchung einsehen, daß er so wie das feste Land Erhöhungen, Thäler und Ebenen habe. Die meisten Inseln liegen in dem Zuge, in welchem die Gebirgskette eines nahen festen Landes liegt, zum Beweise, daß diese Ketten selbst unter dem Meere fortlaufen. Auch das Gestein, welches die Küsten bildet, findet man gewöhnlich noch eine ziemliche Strecke weit vom Lande, so daß man wohl annehmen kann, die Bestandtheile des festen Landes seyen mit denen des Meerbodens im Allgemeinen übereinstimmend. Ungeachtet dieser Uebereinstimmung der Bestandtheile des Meerbodens und des festen Landes, hat ersterer doch einiges Eigenthümliche. Dahin gehören die in einigen Gegenden des Meeres, besonders in der Südsee, so häufigen Korallenbänke. Diese erheben sich vom Grunde des Meeres zu einer solchen Höhe, daß sie oft nahe an den Wasserspiegel reichen und unzähligen Inseln zur Unterlage dienen, oft aber vom Wasser bedeckt bleiben und die Schifffahrt ungemein gefährlich machen.

117. Von den Erhöhungen und Vertiefungen des Meerbodens hängt die Tiefe des Meeres ab. Man hat bis jetzt wenige genaue Resultate über diesen Punct, weil eine solche Untersuchung zu schwierig ist. Das sicherste Mittel, die Tiefe zu messen, ist ohne Zweifel ein an einer langen Schnur hängender Körper von Blei; allein dieses läßt sich nur bei geringen Tiefen anwenden, weil bei großer Tiefe das Blei durch die Schnur, welche specifisch leichter ist als das Wasser, getragen wird und daher nicht bis auf den Boden hinabsinkt. Deßhalb bedient man sich zur Erforschung bedeutender Tiefen sogenannter Bathometer.

Das brauchbarste Instrument dieser Art gab Hook an. Es besteht aus zwei an einander gehängten Körpern, wovon der eine specifisch schwerer, der andere specifisch leichter ist als Wasser. Läßt man sie ins Wasser so macht sich der leichtere alsogleich vom schwereren los, sobald er den

Meeresboden erreicht hat, und steigt in die Höhe, so daß man aus der Zeit, welche verfloß vom Augenblicke des Untersinkens bis zum Emportauchen, die Tiefe berechnen kann. In der Regel nimmt die Tiefe zu, wie man sich vom festen Lande entfernt, und zwar desto schneller, je steiler die Küsten aufsteigen. Sehr steile Küsten haben selbst zunächst an sich so große Tiefen, daß Schiffe nicht ankern können, während ihnen flache Ufer wegen zu großer Seichtigkeit keine Annäherung gestatten. Merkwürdig ist der schnelle Wechsel der Tiefe in Gegenden, wo sich Korallen- oder Sandbänke befinden. Als Beispiel des letzteren Falles mögen die großen Sandbänke in Neufoundland dienen, wovon die größte 80 Seemeilen lang, 20 breit ist, und 40 Klafter unter Wasser steht, so, daß die Schiffe ohne Gefahr darüber segeln können, zu beiden Seiten aber ist das Meer unergründlich tief.

118. Die Farbe des Meerwassers ist gewöhnlich grünlich, ins Blaue spielend; jedoch können der verschiedene Zustand der Luft, die Beschaffenheit des durchscheinenden Bodens, beigemischte organische Stoffe die Farbe verschieden modificiren. An den westindischen Inseln ist das Wasser so durchsichtig, daß man auf dem mit weißem, reinen Sande bedeckten Grunde jeden kleinen Gegenstand bemerkt, und ein Fahrzeug in diesem Gewässer wie in der Luft zu hängen scheint.

Von besonderer Klarheit soll das Wasser im arabischen Meerbusen seyn; im rothen Meere erscheint es wegen der häufigen Korallen röthlich. Bei stürmischem Wetter erscheint das Meer weiß; vor der Mündung des Platastromes hat man es oft roth gefunden und Gewürme als die Ursache dieser Färbung angesehen. An der westlichen Seite Afrika's, zwischen 20 — 34° nördlicher Breite und um Florida, ist das Meer wie ein Wiese grün gefärbt, weil es von organischen Stoffen ganz überzogen wird.

119. Eine für die Seefahrer sehr interessante Erscheinung ist das Leuchten des Meeres. Oft läßt nämlich ein Schiff so, wie es das Wasser durchschnitten hat, leuchtende Furchen hinter sich, manchmal bemerkt man aber nur da Licht, wo die Wellen zusammenschlagen; oft erscheint eine bedeutende Strecke wie mit unzähligen Sternen bedeckt. Es ist als ausgemacht anzusehen, daß dieses Phänomen durch kleine Thiere (Medusen, Salpen, Beroen, Physalien, Physsophoren, Rizophysen rc.) hervorgebracht werde, die vorzüglich im Leben, aber auch noch im Tode phosphoresciren, besonders wenn dieses durch Reibung und Wärme begünstiget wird.

120. Das Meerwasser hat einen bittern und salzigen Geschmack, und bekommt leicht, wenn es in Ruhe steht, einen üblen Geruch: ersterer kommt von den in demselben aufgelösten Salzen (salzsaurer, schwefelsaurer und kohlensaurer Bittererde, kohlensaurem Kalk, Kochsalz) her. Die Salzigkeit des Meerwassers ist in verschiedenen Meeren und in verschiedenen Längen- und Breitengraden verschieden. Der Ursprung der Salzigkeit des Meerwassers fällt ohne Zweifel mit jenem der Erde zusammen, und man kann nicht annehmen, sie sey successiv durch Auflösung größerer Salzmassen vermehrt worden. Die Verschiedenheit des Salzgehaltes an verschiedenen Stellen rührt wohl von der größeren oder geringeren Ausdünstung her.

Das Wasser des atlantischen Meeres ist salziger als jenes der Südsee, und der indische Ocean ist gegen den atlantischen Ocean hin salzreicher als gegen die Südsee zu. Im atlantischen Meere ist die Salzigkeit am westlichen Theile größer als am östlichen; die Südsee scheint aber in allen Längengraden einerlei Salzigkeit zu haben. In den großen Oceanen gibt es sowohl am nördlichen, als südlichen Theile ein Maximum der Salzigkeit. Das nördliche steht weiter vom Aequator ab, als das südliche. Der verschiedene Salzgehalt des Meerwassers ist Ursache seiner verschiedenen Dichte, die man durchschnittlich mit 1.02 angibt. An Stellen, wo das Meer tiefer ist, und welche von den Küsten entfernter sind, ist auch das Wasser salzreicher; Meerbusen, die mit dem großen Oceane nur durch schmale Canäle zusammenhängen, sind ärmer an Salz als der weite Ocean; das mittelländische Meer ist allein der stärkeren Verdünstung wegen daran reicher. Große, sich ins Meer ergießende Ströme vermindern die Salzigkeit desselben, und äußern diesen ihren Einfluß oft meilenweit von der Mündung. Nach Lenz (Pogg. Ann. 20. 73) ist der Salzgehalt des Meeres vom Aequator bis 45° Breite in allen Tiefen innerhalb 1000 Klaftern derselbe.

121. Wiewohl das Meer im Ganzen keine von seiner Schwere abhängende fortschreitende Bewegung hat, so gibt es doch mannigfaltige Bewegungen seiner Fluthen, die oft für die Schifffahrt von großer Bedeutung sind. Dahin gehören die Ebbe und Fluth, beständige, periodische und unregelmäßige Strömungen und endlich der Wellenschlag.

122. Unter Ebbe und Fluth versteht man das periodische Abnehmen und Anschwellen des Wassers, deren jedes täglich zweimal erfolgt. Ungefähr 6 Stunden nach der Fluth tritt die Ebbe ein, und diese wechselt nach einer gleichen Zwischenzeit wieder mit der Fluth; doch verspätet sich die periodische Wiederkehr der Fluth täglich um ungefähr so viel, daß ihre Periode genau mit der halben täglichen Umlaufszeit des Mondes zusammenfällt. In offener See schwillt das Wasser von Osten her an, und läuft gegen Westen wieder ab; an den Küsten wird aber sowohl die Richtung, als die Geschwindigkeit und Größe des Zu- und Abströmens durch die besondere Lage und die Krümmungen der Küsten, durch Strömungen, wohl auch durch das Einmünden der Flüsse und durch Winde bedeutend modificirt. Zwischen den Orkneiund den schetländischen Inseln fließt das Wasser von NW. zu und nach SO. ab, in der Davisstraße kommt es von S. und fließt nach N. ab. Die mittlere Geschwindigkeit des Zu- und Abflusses wird in offener See zu 2 F. angenommen, an den Küsten fällt sie oft so klein aus, daß auf einen Tag statt zwei Fluthen nur eine kommt, wie dieses bei Westindien der Fall ist; auch erfolgt der Zu- und Abfluß nicht immer mit derselben Geschwindigkeit. In der Meerenge von Malacca fließt das Wasser einen Theil des Jahres hindurch 9 Stunden lang zu, und nur 3 St. lang ab; bei Vera Cruz dauert der Zu- und Abfluß gar 24 St., und es herrscht daselbst während eines Tages gar nur eine Fluth und eine Ebbe. Die Höhe der Fluth ist nicht immer dieselbe, sondern unterliegt bedeutenden Veränderungen, und diese stehen in deutlicher Beziehung mit den Mondesphasen und mit der Ent-

fernung des Mondes von der Erde. Gegen die Zeit des Vollmondes und des Neumondes wachsen sie, und gegen die Zeit der Viertel nehmen sie wieder ab; doch treffen die größten Fluthen (Springfluthen) erst $1^1/_2$ Tag nach dem Voll= oder Neumonde ein, und auch die kleinsten (Nippfluthen) fallen nicht genau auf die Mondesviertel. Die Zeit des Eintrittes der Fluth wird beschleunigt, wenn der Mond von der Conjunction oder Opposition der Quadratur zugeht, und verzögert, wenn derselbe von der Quadratur der Conjunction und Opposition entgegengeht. Selbst die Springfluthen sind periodischen Ungleichheiten unterworfen; sie sind zur Zeit der Nachtgleichen am größten, zur Zeit der Sonnenwende am kleinsten, doch sind wieder in den Wintermonaten die Springfluthen der nördlichen Halbkugel Morgens stärker als des Abends, umgekehrt in den Sommermonaten. So wie sich die Sonne, noch mehr aber der Mond der Erde nähert, wachsen die Fluthen so, daß die größten aller Fluthen dann eintreten, wenn die Nachtgleiche mit einem Neu= oder Vollmonde und der Erdnähe des Mondes und der Sonne zusammentrifft.

Beim Ausflusse der Elbe beträgt der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande 10 — 12 F., bei den canarischen Inseln steigen die Springfluthen auf 7 — 8 F., an den portugiesischen und spanischen Küsten auf 12 F., in der Bai von Biscaya auf 15 F., in der Bai von St. Malo auf 15 F., bei Cherbourg beträgt die Fluthhöhe 19 F., bei Cowes 14 F., bei Havre und Dovre 18 F., bei Dieppe und Calais 17 F. Die Fluth reicht oft weit in die Flüsse hinein, und erzeugt an den Mündungen Sandbänke (Barren).

123. Man leitet heut zu Tage allgemein Ebbe und Fluth von der anziehenden Kraft der Sonne und des Mondes ab, und rechtfertiget dieses durch genaue Berechnung dieser Phänomene aus der Gravitation. Diese Berechnung beruht auf Folgendem: Es sey C (Fig. 392) der Mittelpunct der Erde, dieselbe sey ringsum von Wasser bedeckt, und dieses habe in jenem Gleichgewichtszustande, in welchen es bloß durch die irdische Schwere versetzt wird, die Gestalt a c b d. Ist A ein Körper, der anziehend auf die Erde wirkt, und seine Entfernung von derselben von solcher Größe, daß gegen sie der Erdhalbmesser nicht verschwindet, und daher die Theile in a, c, b, d, C eine verschiedene Anziehung erleiden; so kann das vorige Gleichgewicht nicht weiter bestehen, und die Flüssigkeit wird eine andere Gestalt annehmen müssen, damit wieder Gleichgewicht eintrete. Da a mehr gegen A hin gezogen wird, als C, dieses hingegen mehr als b, so wird sich dem Körper A die Oberfläche des Wassers in a mehr, in b aber weniger nähern, als der feste Theil der Erde, dessen Annäherung an A jener seines Mittelpunctes gleich ist, und das Wasser nimmt demnach die Gestalt $\alpha\gamma\beta\delta$ an. Es käme das Wasser ins Gleichgewicht, wenn die Erde keine Axendrehung und der Körper A keine Bewegung hätte; vermöge der Axendrehung der Erde und der Bewegung des Körpers A um dieselbe bleibt es aber in steter Bewegung, es strömt fortwährend von c und d nach a und b hin, aber die Stellen a und b rücken selbst um die ganze Erde herum.

Ist nun A der Mond, so begreift man leicht, daß durch ihn täglich an derselben Stelle zwei Fluthen und zwei Ebben hervorgebracht werden. Auf ähnliche Weise wirkt auch die Sonne, aber die von ihr erzeugten Fluthen werden kleiner seyn, ungeachtet ihre Anziehung größer ist, als jene des Mondes, weil ihre Entfernung von der Erde so groß ist, daß sie die Puncte a, b, c, d und C fast gleich stark anzieht. Fallen die von der Sonne und die vom Monde herrührende Fluth zusammen, so geht daraus eine Springfluth hervor; fällt die Mondesfluth in die Sonnenebbe, so resultirt daraus eine Nippfluth. Hier wurde der Leichtigkeit wegen die ganze Erde mit Wasser bedeckt angenommen. Wenn auch dieses in der Wirklichkeit nicht Statt findet, so wird dadurch im Wesen der Theorie doch nichts geändert, sondern es werden nur locale Abänderungen hervorgebracht. (Eine genaue Theorie dieser wichtigen Erscheinung findet man in La Place *Mécanique céleste*, *T. II. p.* 63 *et s. T. V. p.* 145. und in Schmidt's Handb. der math. und phys. Geographie. Göttingen 1830. B. 2. S. 532. Eine populäre Darstellung gibt Schumacher's Jahrbuch für 1838. S. 182.)

124. Die Strömungen sind vorzüglich für die Schifffahrt von großer Wichtigkeit, und werden darum von den Seefahrern fleißig beobachtet. Sie rühren im Allgemeinen von den herrschenden Winden, von der Axendrehung der Erde, von der verschiedenen Temperatur und Salzigkeit des Meerwassers, vom zeitweiligen Schmelzen des Polareises, von der ungleichen Ausdünstung, von Ungleichheiten des Bodens, und endlich von der durch einströmende Flüsse mitgetheilten Geschwindigkeit her. Unter den allgemeinen Strömen sind der Aequatorialstrom (von den Holländern Dienung genannt) und der Golphstrom die wichtigsten. Zufällige Strömungen können überall durch anhaltende Winde und den Wechsel des Wasserreichthums einmündender Flüsse erzeugt werden. Stoßen starke Ströme in entgegengesetzten Richtungen auf einander, so entstehen daraus Wirbel, die manchmal noch durch den Widerstand des Wassers an Felsen, auch durch Reflexion desselben bedeutend verstärkt werden, aber den Schiffenden jetzt nicht mehr so fürchterlich sind, als ehemals.

Der Aequatorialstrom herrscht zwischen den Wendekreisen, ja selbst bis zum 28. Grad nördlicher Breite, und fließt mit einer mittleren Geschwindigkeit von 9 — 10 Meilen in 24 St. im Allgemeinen von Ost nach West, aber durch den Widerstand der Küsten erhält er oft eine andere Richtung. Der Golphstrom entsteht durch den Aequatorialstrom im mexicanischen Meerbusen, geht anfangs durch den Canal von Bahama nördlich, hierauf nordöstlich und dann östlich, und wird dabei immer breiter und langsamer. Oestlich von Boston ist er 80, im Meridian der Azoren gar 160 Seemeilen breit, und hat eine Geschwindigkeit von einer Meile in der Stunde. In 45° — 50° nördl. Br. theilt er sich in zwei Arme, wovon einer südlich geht und unter Madeira wieder zu seinem Ursprunge zurückkehrt, der andere aber in nördlicher Richtung gegen die Küsten von Europa zieht, an den norwegischen und irländischen Küsten gleichsam reflectirt wird, nach West zurückkehrt, und mit einem aus dem Eismeere durch die Davisstraße kom-

menden Strome vereint gegen die Ostküste Grönlands zurückgeht. Man erkennt sein Daseyn leicht aus der höheren Temperatur, aus der blauen Farbe seines Wassers und dem häufigen Tange, den er mit sich führt. Es gibt noch viele andere beständige Ströme, aber sie sind noch nicht so genau untersucht, wie die vorhergehenden. Ein solcher geht vom baltischen Meere ins deutsche, vom schwarzen Meere in den Bosphorus und seitwärts wieder zurück 2c Auch viele periodische Strömungen sind bekannt Den größten Theil des Jahres hindurch geht das Wasser um das Cap Horn und Feuerland vom stillen in den atlantischen Ocean. Im indischen und chinesischen Meere gibt es mehrere periodische Strömungen. Vom October bis Mai strömt das Wasser in das rothe Meer, und vom Mai bis October fließt es wieder zurück. Im chinesischen Meere herrscht von Mitte Mai bis Mitte August ein nordöstlicher, und von Mitte August bis Mitte Mai ein südwestlicher Strom.

125. Durch den Stoß des Windes entstehen die **Wellen**. Bläst der Wind mit der Oberfläche des ruhigen Wassers parallel, so kann er durch Reibung die Wellenbewegung anfachen, trifft er sie aber schief, so wirkt er wie ein in das Wasser geworfener Körper. Aus S. 279 u. f. ist klar, nach welchen Gesetzen alles vor sich geht. Die Höhe und Breite der Wellen richtet sich nach der Stärke und Richtung des Windes und nach der Aufeinanderfolge seiner Stöße, aber auch nach der Tiefe des Wassers, daher man auch letztere aus dem Wellenschlage beurtheilen kann. Die mittlere Höhe der Wellen beträgt nicht über 6 F., sie ist in der Nordsee größer als in der Ostsee und im mittelländischen Meere, im atlantischen Oceane sind die Wellen vorzüglich lang und breit. Der Wellenschlag ist nur in offener See völlig regelmäßig, wenn ihm keine Klippen im Wege stehen; an Felsen entstehen die sogenannten **Brecher** (reflectirte Wellen), und an Ufern die **Brandungen**. (System einer allgemeinen Hydrographie des Erdbodens von **Otto**. Berlin 1810.)

Drittes Kapitel.

Festes Land.

126. Eben so mannigfaltig, wie sich das feste Land in Bezug auf seine äußeren Umrisse darstellt, erscheint es auch hinsichtlich der Beschaffenheit seiner Oberfläche. Dasselbe Land erhebt sich in verschiedener Höhe über das Meer, und steigt in der Regel desto mehr auf, je weiter es vom Meere entfernt ist. Der Verticalabstand der größten Höhe von der kleinsten, ist nicht genau bekannt. Setzt man die größte Tiefe des Meeres gleich der halben Höhe des höchsten Berges über die Meeresfläche, so erhält man für jenen Abstand etwa 6000 Klafter, und diese machen den 573sten Theil des Erdhalbmessers. Demnach sind selbst die größten Erhöhungen gegen die Größe der Erde verschwindend klein. Erhöhungen der Erdoberfläche heißen nach Maßgabe ihrer Größe **Berge** oder **Hügel**, und die tieferen Stellen zwischen Erhöhungen werden **Thäler** genannt. Eine Anzahl Berge, welche nach gewissen Gesetzen

und in bestimmten Begrenzungen mit einander verbunden sind, nennt man ein Gebirge. Eine Reihe zusammenhängender Berge eines Gebirges heißt eine Gebirgskette. Ihre allgemeinste Form ist die eines dreiseitigen Prisma's, das mit einer Seite auf einem horizontalen Boden liegt, wie ein Dach, und wovon die obere Kante das Joch, die Seitenflächen die Abfälle und die unteren Theile des Abfalles den Fuß derselben ausmachen. Gebirgsketten durchziehen die Oberfläche der Erde nach allen Richtungen. Die Gegenden, wo mehrere Gebirgsketten sich vereinen, bilden die Knoten des Gebirgssystems, und von da aus werden sie durch große Thäler von einander getrennt, die man Hauptthäler (Längenthäler) nennt.

127. Die Höhe eines Berges kann im zweifachen Sinne genommen werden. Entweder versteht man darunter die verticale Entfernung des Gipfels von seinem Fuße oder die Erhöhung desselben über die Meeresfläche. Im letzteren Falle denkt man sich eine Linie vom Mittelpuncte der Erde bis zum Gipfel eines Berges, und eine andere bis zur Meeresfläche in derselben geographischen Breite mit dem Berge gezogen. Der Unterschied dieser zwei Linien gibt die Höhe des Berges in der zuletzt genannten Bedeutung. Diese Höhe ist von der ersteren sehr verschieden, weil der Fuß eines Berges selbst oft schon auf einer bedeutenden Anhöhe steht. Man bestimmt die Höhe eines Berges entweder durch Nivelliren oder durch trigonometrisches Ausmessen, oder mittelst des am Gipfel und am Fuße oder an der Meeresfläche beobachteten Luftdruckes. Das erstere Verfahren ist mühsam und oft gar nicht ausführbar, und gibt selbst im günstigsten Falle nur die Erhöhung des Berges über seinen Fuß; letzteres gilt auch von der zweiten, die überdieß auch noch durch die irdische Strahlenbrechung, welche die Höhe der Gegenstände vergrößert, unsicher gemacht wird, wenn man nicht zugleich die Messungen so einrichtet, daß man daraus zugleich die Größe der Strahlenbrechung erfährt; die dritte ist am leichtesten ausführbar, und kommt auch an Schärfe den vorhergehenden ziemlich nahe, wenn man keine Vorsicht vernachläßiget.

Nach S. 192 wird die Höhendifferenz H zweier Orte, in welchen die Barometerhöhen B und b und die Lufttemperatur t und t′ herrscht, ausgedrückt durch $H = C\,(\log B - \log b)\,(1 + \alpha\tau)$, wo $C = 56386$ ist, wenn man die Höhe in Pariser Fuß oder gleich 57945, wenn man sie in Wiener Fuß nud endlich gleich 18336, wenn man sie in Metern ausgedrückt haben will, $\alpha = 0{,}00365$, $\tau = \frac{t + t'}{2}$; B und b können in beliebigem Maße ausgedrückt werden. Man kann wohl auch noch den Einfluß der Luftfeuchtigkeit, der geographischen Breite ꝛc. in Rechnung bringen, doch sind die hiedurch erhaltenen Correctionen so klein, daß man sie in den meisten Fällen vernachläßigen kann. Uebrigens wird die Correction wegen der geographischen Breite φ gefunden, wenn man den durch die vorhin gegebene Formel gefundenen Werth von H mit $0.002837 \cos 2\varphi$ multiplicirt. Das Resultat wird zum Werthe von H mit seinem Zeichen addirt.

Man kann die Höhe der Quecksilbersäule, welche dem Luftdrucke

entspricht, nicht bloß durch Barometerbeobachtung finden, sondern auch aus der Siedhitze des Wassers ableiten. Bekanntlich haben die aus dem siedenden Wasser aufsteigenden Dämpfe eine Spannkraft, welche dem jedesmaligen Luftdrucke gleich ist, und beide werden demnach durch dieselbe Quecksilbersäule gemessen; ferner herrscht zwischen der Spannkraft b jener Dämpfe und der Temperatur t der oberen siedenden Schichten eine Relation, die sich durch folgende Gleichung ausdrücken läßt:

$$\log b = \frac{23,945371\, t}{800 + 3\, t} - 2,2960374,$$

wobei b in Metern angegeben wird. Setzt man in der früheren Formel für b diesen Werth und B = $0^m,76$, so erhält man

$$H = \left(39914,7 - \frac{439062\, t}{800 + 3\, t}\right)(1 + \alpha\, \tau).$$

Die Correctionen wegen den Aenderungen der Schwere in verschiedenen Breiten lassen sich wie bei der barometrischen Formel anbringen.

Zur leichteren Berechnung geringer Berghöhen dient folgende Tafel: B bezeichnet den auf 0° C. reducirten Barometerstand, H die Höhe, D die Differenz zweier auf einander folgender Höhen. Alles bezieht sich auf Wiener Maß.

B.	H.	D.	B.	H.	D.
301 L.	84 F.	8,3	321 L.	1704 F.	7,9
302	168	8,3	322	1738	7,7
303	250	8,3	323	1860	7,8
304	333	8,3	324	1938	7,8
305	416	8,3	325	2016	7,7
306	499	8,3	326	2093	7,8
307	581	8,2	327	2171	7,6
308	663	8,2	328	2247	7,7
309	745	8,1	329	2324	7,6
310	826	8,1	330	2400	7,7
311	907	8,1	331	2477	7,6
312	988	8,0	332	2553	7,5
313	1068	8,1	333	2628	7,6
314	1149	8,0	334	2704	7,5
315	1229	8,0	335	2779	7,6
316	1309	7,9	336	2855	7,5
317	1388	8,0	337	2930	7,4
318	1468	7,9	338	3004	7,4
319	1547	7,9	339	3078	7,4
320	1626	7,8	340	3152	7,4

Beim Gebrauche nehme man aus der Columne H die Zahl, welche den Barometerstand B in der ersten Station, nach Hinweglassung der Bruchtheile einer Linie, bezeichnet, hierauf multiplicire man die weggelassenen Zehntellinien mit der Zahl aus der Columne D, welche dem Barometerstande entspricht, und addire dieses Product zu ersterer Zahl. Thut man dasselbe für den Barometerstand der zweiten Station: so erhält man durch die Differenz der zwei so gefundenen Zahlen die verlangte Höhe = A. Um diese für die Luftwärme in beiden Stationen

zu corrigiren, multiplicire man den tausendsten Theil der gefundenen Höhe mit der doppelten Summe der Temperaturen beider Stationen, und gebe das Product mit seinem Zeichen zu A. Z. B. aus 24 gleichzeitigen, im botanischen Garten in Wien, und am Leopoldsberge bei Wien angestellten Beobachtungen ergab sich die auf 0° C. reducirte Barometerhöhe in Wien = 339,1 L. und die am Leopoldsberge = 330,5.

Der Zahl 339 entsprechen in der Tabelle	3078
0,1	7
mithin 339,1	3085
Eben so entsprechen der Zahl 330 in der Tabelle	2409
0,5	38
mithin 330,5	2438
und daher der Höhenunterschied 3085 — 2438 =	647

Die Temperatur in Wien war 14°,40, die am Kahlenberge 14°,42, mithin die doppelte Summe 57,64 und $57{,}64 \times 0{,}647 = 37{,}4$, und daher die gesuchte Höhe $647 + 37 = 684$ F.

Siehe hierüber: Die Hypsometrie mittelst physischer Beobachtungen von A. Suppan. Innsbruck 1834. Das Höhenmessen mit dem Thermometer von J. W. Gintl. Wien 1835.

128. Das Joch einer Gebirgskette ist selten so schmal, als die vorhin gemachte Vergleichung mit der Kante eines dreiseitigen Prisma's anzuzeigen scheint. Es gibt wohl, besonders in Deutschland, einige Puncte, wo das Joch nicht die Breite eines Hauses hat, wie z. B. am Brenner in Tirol, wo das Dachwasser eines Hauses von einer Seite dem adriatischen, von der andern dem schwarzen Meere zufließt, oder im Dorfe Siechingen im Würtembergischen, wo von einem Hause sich das Regenwasser zum Theil in den Neckar, und mithin in die Nordsee, zum Theil in die Donau, und dadurch ins schwarze Meer ergießt. In den französischen Gebirgen beträgt die Breite kaum eine Meile, in Norwegen bei Langfiels 8 — 12 Meilen, in Amerika gar 50 Meilen. Man heißt diese Gegenden **Landhöhen** oder **Landrücken**.

Die berühmtesten Landhöhen befinden sich in Amerika, nämlich die von Titicaca und Antisana (2050 — 2155 W. Kl. hoch), von Quito und Carumarca (1530 Kl.), von Bogota (1407 Kl.) und Mexico (1190 Kl.). Asien hat, so weit man es kennt, nur zwischen den Gebirgsketten des Himalaya und Kuenlun Landhöhen, die sich den amerikanischen zur Seite stellen lassen. Die persische Landhöhe hat nur 667 W. K. Afrika ist uns zu wenig bekannt, als daß man die Landhöhen genau anzugeben im Stande wäre. Das Hochland Abessinien ist wohl unter allen das bekannteste, und auch nach allen Nachrichten so hoch, daß es dem Hochlande Quito noch am ersten an die Seite gestellt werden dürfte. Europa hat kein Hochland aufzuweisen, welches sich mit denen der übrigen Welttheile messen könnte. Das schwäbische Hochland hat nur 450 Kl. Höhe, das Plateau zwischen den Alpen und dem Jura 267—277 K., und das in Spanien 359 Kl. Höhe. Selbst das Hospiz auf dem großen Bernhard, der höchste bewohnte Ort Europa's und noch dazu keine Gebirgsebene, liegt tiefer als die benannten Landhöhen der anderen Welttheile.

129. Selten behält ein Joch eine lange Strecke hindurch dieselbe **Richtung**, sondern es wendet und biegt sich nach verschiedenen Ge-

genden. Von der Richtung der Gebirgsrücken hängt die Gestalt eines Landes ab, das sich über das Meer erhebt. In Amerika läuft ein mächtiges Gebirge von Süd nach Nord, und das Land hat auch in dieser Richtung die größte Ausdehnung. In Nordamerika läuft ein Gebirge von Nord nach Süd längs der Westküste, und ein anderes an der Ostküste von Nordost nach Südwest, und davon hängt die dreieckige Gestalt des Landes ab; dasselbe findet in Südamerika Statt, wo nebst dem von Nord nach Süd laufenden Gebirge auch noch eine Gebirgskette von Nordost nach Südwest hinzieht. In Asien ziehen die größten Gebirge von Ost nach West durch das Land, und dieser Welttheil ist auch in dieser Richtung am ausgedehntesten; Indien erhält seine dreieckige Gestalt wie Nord- und Südamerika durch besondere Bergketten; Afrika erhält seine Gestalt durch Gebirgsketten, die in der Nähe des Meeres hinlaufen; in Europa erstrecken sich die größten Gebirge von Nordost nach Südwest, und in dieser Richtung ist dieser Welttheil auch am ausgedehntesten. Die **Höhe** des Joches ist in derselben Gebirgskette verschieden. Ist die Kette selbstständig und von allen Seiten mit Ebenen umgeben, so liegt ihre größte Höhe in der Mitte; ist sie aber nur ein auslaufender Zweig eines größeren Gebirgsstammes, so hat sie in dem Theile die größte Höhe, welcher dem Centrum am nächsten ist, und verflächt sich immer mehr. Beträchtliche und schnelle Abfälle eines Gebirgsjoches bilden **Pässe**, welche als Vereinigungspuncte zweier getrennten Länder angesehen werden können, und ihrer, in Bezug auf die benachbarten Theile des Gebirges, niederen Lage ungeachtet, oft eine bedeutende absolute Höhe haben. Auf diese Weise verbinden die Pässe über den Brenner und St. Gotthard das westliche Deutschland mit Italien, der Paß des Puymorin Frankreich mit Spanien u. d. m. Oft werden Gebirgszüge von Flüssen durchbrochen, wie dieses z. B. die Elbe bei Königstein, der Rhein zwischen Mainz und Köln thut. Daher folgt auch die Wasserscheide nicht den Gebirgszügen.

130. Der Abfall einer ganzen Gebirgskette besteht aus einer großen Anzahl besonderer Abfälle, die man ersteigen muß, um den Gipfel oder das Joch zu erreichen. Die mittlere, aus allen diesen zusammengesetzte Neigung der Seitenflächen wechselt bei gewöhnlichen Gebirgsketten von 2° — 6°, der südliche Abfall der Alpen von den höchsten Puncten an beträgt nur $3^3/_4$°. Allein es scheint eine allgemeine Regel zu seyn, daß die beiden Abhänge einer Gebirgskette ungleich sind, und daß immer einer kürzer und steiler als der andere ist. Man kann es als Regel ansehen, daß die Gebirge immer dort den steilsten Abhang haben, wo sie ein Becken einschließen, es mag dieses nun festes Land seyn oder Wasser enthalten. Die Gebirgsketten haben häufig an den Abhängen senkrecht auf ihrer Länge tiefe Einschnitte, welche Thäler bilden, die von den vorhin genannten, von ganzen Gebirgsketten gebildeten unterschieden werden müssen, und eigentlich nur große, bis zum Fuß der Kette herabsteigende Rinnen formiren. Diese Thäler theilen die Kette in kleinere, untergeordnete Arme und Zweige, von

denen alles das gilt, was von der Hauptkette gesagt wurde. Ihr Joch fällt nicht gleichförmig ab, sondern hält sich oft lange in einer bedeutenden Höhe, und senkt sich dann plötzlich; sie laufen oft über den Fuß der Hauptkette hinaus. Erstrecken sie sich bis zum Meere und endigen sich da schnell, so nennt man sie ein Cap oder Vorgebirge.

131. Den Gebirgsgegenden stehen die sogenannten Wüsten sowohl in Hinsicht ihrer physischen Beschaffenheit, als auch durch die Rolle, welche sie in der Geschichte der Erde spielen, gerade gegenüber. Wenn jene dem Auge eine unendliche Mannigfaltigkeit darbieten, so ermüden es diese durch eine eben so große Einförmigkeit. So wie jene die Geburtsstätte der Quellen und Flüsse sind, die gewürzreichsten und kräftigsten Pflanzen nähren, unzähligen Thieren zum Aufenthalte dienen, und von ihren höheren Puncten das herrlichste Panorama darstellen; so sind diese wasserarm und trocken, von aller Vegetation entblößt, meistens nur mit Sand und kleinen Steinen bedeckt, und gewähren dem Wanderer das schauerliche Bild einer todten Welt. Wiewohl die Wüsten in der Regel allenthalben, wo sie vorkommen, denselben Grundcharakter einer großen, der Vegetation im Allgemeinen ungünstigen Ebene behalten; so werden sie doch im Einzelnen durch die Beschaffenheit des Bodens, durch das Klima und ihre Höhe über die Meeresfläche näher bestimmt.

Die Wüsten von Asien und Afrika sind eigentliche Sandmeere, und bestehen aus unermeßlichen Strecken, die mit Flugsand oder mit großen Kieselstücken übersäet sind; sie lassen sich vom Cap Bojador an bis jenseits des Indus in einer Strecke von 1400 geogr. Meilen verfolgen. Die größte ist die Sahara, die wie ein ausgetrockneter Meeresarm ganz Afrika zwischen dem 15. und 31.° nördl. Br. durchsetzt, und 65000 Q. Meilen faßt. In ihr spricht sich der Charakter einer Sandwüste am schrecklichsten aus. Sie bietet dem Auge nichts als eine unermeßliche, durch keinen Hügel unterbrochene Ebene dar, nichts als brennender Sand, mit dem die Winde ihr verderbliches Spiel treiben, bedeckt den pflanzenleeren Boden, keine Quelle findet sich daselbst, und nur selten stoßt man auf künstliche, in den Sand gegrabene Brunnen, zu welchen dem Wanderer die in Sand gesteckten Knochen von umgekommenen Thieren den Weg zeigen, die häufig wieder verschüttet oder von Insectenschwärmen erfüllt sind. Die Luft ist wolkenlos, heiß, röthlich trübe, mit dem feinsten Sande überladen, von keinem Regen erfrischt und von keinem Vogel besucht. Nur wenige Orte dieses grauenvollen Meeres ragen, wie Inseln, mit ihrer üppigen Vegetation aus dem Sande hervor; sie werden Oasen genannt. Eine andere große Wüste Afrika's ist die Lybische, welche vom Nilthale begrenzt wird. Jenseits der Landenge von Suez fängt die Wüste Nedsjed an, die das ganze Innere von Arabien ausfüllt. Der Euphrat ist die östliche Grenze der arabischen und syrischen Wüste. Persien wird vom caspischen Meere an bis zum indischen von ungeheuren Sandmeeren durchschnitten, unter denen die an Salz reichen Wüsten von Adjemin, Kerman und Mekan die hauptsächlichsten sind. Nach Humboldt beträgt der Erdstrich, den diese Sandwüsten einnehmen, die Oasen abgerechnet, gegen 112,000 geogr. Quadratmeilen.

132. Die Ursachen der Abwesenheit aller Vegetation in den bisher genannten Wüsten ist der Mangel an Wasser, der durch das Klima und die Lage hervorgebracht ist, und die Armuth an Vegetation selbst wieder bedingt. Dieses zeigen die Oasen dieser Wüsten, und der Umstand, daß selbst dort, wo das Klima kälter ist, aber wegen der Höhe über der Meeresfläche und der Beschaffenheit des Bodens alles Wasser abfließt, die Gegend das traurige Bild einer Sandwüste darstellt. Der Einfluß des Wassers zeigt sich vorzüglich an den sogenannten Llanos in Amerika, an der Wüste Karao in Südafrika und an vielen Gegenden, die bei einem anderen Klima gewiß Sandwüsten wären, nun aber in die Reihe der sogenannten Steppen gerechnet werden dürfen.

Die Karao hat ungefähr 1000 geogr. Quadratmeilen, liegt zwischen hohen Bergen, und ist selbst von nicht unbedeutenden Thonschiefergebirgen durchzogen, stellt aber doch auch Ebenen von 30—40 Quadratmeilen dar. Ihr Boden besteht auch aus Thon und Sand. Dieser wird während des Sommers so ausgetrocknet, daß er mächtige Sprünge bekommt, an vielen Stellen ganz ausgedörrt ist und die Vegetation verliert, während er an anderen, wasserreichen mit dem schönsten Pflanzenschmucke prangt. Sobald aber die kühlere Jahreszeit Regen bringt, so erwachen die in der Erde vergrabenen Wurzeln und Samen, und bald lockt die üppige Vegetation die Bewohner der nahen Gebirge mit ihren Heerden herbei. Ein ähnliches Schauspiel bieten die Llanos in Amerika dar. Sie liegen, wie die Sahara, im heißen Erdstriche, besitzen aber ein mehr feuchtes Klima, und erscheinen daher in jeder Jahreshälfte in einer andern Gestalt. Wenn im Sommer unter dem senkrechten Strahle der Sonne die Pflanzendecke abgebrannt und der Boden ausgetrocknet ist, und selbst der sonst kühlende Ostwind neue Hitze bringt; so wetteifern sie an Unfruchtbarkeit mit Sahara; sobald aber die Regenzeit eintritt, überzieht sich der ganze Boden mit den mannigfaltigsten Gräsern.

133. Die Steppen gleichen durch ihren Mangel an abwechselnden Vertiefungen und Erhöhungen den Wüsten, unterscheiden sich aber von ihnen dadurch, daß sie den Sommer hindurch mit Pflanzen besetzt sind, worunter viele Salzpflanzen vorkommen, die wenigstens den Schein einer Wüste tilgen.

Solcher Steppen gibt es besonders in Asien viele. Sie erstrecken sich von der chinesischen Mauer bis zum Aralsee, fast ununterbrochen 1000 geogr. Meilen weit. Dazu kommen noch die nördlich von Astrachan liegenden und diejenigen, welche sich zwischen der Wolga, dem Don und Dnieper bis zur sogenannten bessarabischen Wüste hinziehen. — Eine der größten Steppen der Erde befindet sich in Amerika. Sie zieht von der Küstengebirgskette von Caraccas bis zu den Wäldern von Guyana, und beträgt nach Humboldt 14000 Quadratmeilen.

134. Man muß in jedem Welttheile mehrere Gebirgssysteme annehmen, die von einander nicht bloß durch Thäler und Ebenen getrennt sind, sondern sich in ihrer äußeren Form und inneren Structur von einander unterscheiden.

Asien hat mehrere merkwürdige Bergsysteme: Das Bergsystem des Urals oder das Pojassowoi-Pawdinskoi-Gebirge, des Caucasus, des Taurus und Antitaurus, des Altai, Tiankhan, Kuenlun und des Himmelsgebirges (Himalaya) ꝛc. Das Uralgebirge fängt nicht weit vom caspischen Meere unter 45° nördl. Br. an, und geht von Südost nach Nordwest bis ins Eismeer fort; die caucasischen Gebirge ziehen von SO. nach NW. 95 Meilen lang zwischen dem caspischen und schwarzen Meere fort, und erreichen mit dem Berge Caucasus die grißte Höhe, nämlich 2839 W. Kl. Die mittlere Höhe, der Kamm dieser Kette, beläuft sich auf 1387 Kl. Das System des Altai im weiteren Sinne erstreckt sich von Ost nach West zwischen den Parallelen von 50 — 59° nördl. Br., 160 Meilen tief in die Kirgisensteppe, ohne bedeutende Höhen zu erreichen. Das Bergsystem Thiankhan, von Pallas Bokhdo genannt, ist vom Altai gegen Osten durch eine hohe, von SSW. nach NNO. laufende Bergrippe, Khingkhan-Oola, getrennt, liegt in einer mittleren Breite von 42°, erreicht im Bokhda-Oola (heiligen Berge) seine größte Höhe, zieht östlich nach Barkoul, verflacht sich da in die große Wüste Cobi, und erstreckt sich nördlich von Kaschgar gegen Samarkand. Das Bergsystem des Kuenlun oder Kulkun beginnt im Westen mit dem blauen oder Zwiebelgebirge (Thsungling), und zieht sich gegen Osten nach den Quellen des Hoangho hin. Das System des Himalaya trennt Kaschmir, Nepal und Butan von Thibet, und steigt im Dhawalagiri bis zu 4513 W. Kl. an, zieht größtentheils von NW. gegen SO., und ist mit dem Kuelun durch Nebenketten verbunden. Die Gebirgssysteme Afrika's sind nur wenig bekannt. Unter 10° nördl. Br. läuft ein Gebirge, die Mondberge genant, hin, ein anderes am Vorgebirge der guten Hoffnung, und endlich an der Nordwestküste der Atlas mit seinen Ausläufern. Eben so wenig kennen wir die Gebirgssysteme Australiens. Die europäischen Gebirgssysteme sind aus einleuchtenden Gründen am besten bekannt. Das Hauptgebirge Europa's sind die Alpen (weißen Berge). Sie sind von allen Seiten scharf begrenzt, dehnen sich von 23° — 35° der Länge und von 44° — 48° nördl. Br. aus, und haben ihre Hauptrichtung von WSW. nach ONO. Ihre größte Höhe beläuft sich auf 2523 Kl., die mittlere Höhe der Kämme auf 1208 Kl. und ihre Pässe auf 1231 Kl. Der Hauptgebirgsstock ist der St. Gotthard mit einer Höhe von 1468 Kl. Ein anderes und zwar dem Range nach das zweite Gebirgssystem bilden die Pyrenäen, die Frankreich von Spanien scheiden, und im Mont Marboré (1795 Kl.), Mont Calm (1833 Kl.), Pic de Cascade (1725 Kl.), Pic de Posets (1810 Kl.) ihre größten Höhen erreichen. Merkwürdig ist an diesem Gebirge, daß die niederen Nebenketten mit der Hauptkette völlig parallel laufen, aber auf der Hauptrichtung der Alpen senkrecht stehen. Das dritte europäische Hauptgebirge sind die scandinavischen oder die Kiölen zwischen Norwegen und Schweden. Sie laufen nur mit wenigen Krümmungen von Süd nach Nord bis an die Spitze des Nordcaps, und erreichen im Sule Tind eine Höhe von 920 Kl. Die Karpathen zwischen Ungarn und Galizien ziehen von Nordwest nach Südost, und haben im großen Krywan (1300 Kl.), der Käsmarker- (1630 Kl.) und Lomnitzerspitze (1700 Kl.) die höchste Elevation. Die Apenninen, Cevenen, Vogesen, das Juragebirge, die Sudeten, das Fichtel- und Erzgebirge ꝛc. sind Gebirge von minderer Bedeutung. Amerika hat bedeutende Gebirgssysteme. Das vorzüglichste, ja dasjenige, wovon vielleicht alle anderen bloße Verzweigungen sind, sind die Cordilleras de los Andes (Kupfergebirge), die Amerika von Nord nach Süd in einer Länge von 1500 Meilen und einer Breite von 18 — 20 Meilen durchziehen. Sie bilden

die Hochebene von Mexico mit mehreren bedeutenden Höhenpuncten, theilen sich in Südamerika in parallel laufende Aeste, und erreichen daselbst mit dem Chimborasso die größte Höhe (3145 Kl.). In Nordamerika theilen sie sich in viele Aeste, wovon sich der längste bis zum Cap Wallis erstreckt, und sich an die von Asien übersetzenden Gebirgszüge anschließt.

135. Alles bisherige bezieht sich auf die äußere Gestalt des festen Landes; es bietet aber auch die Erdrinde in Betreff ihrer materiellen Beschaffenheit viel Merkwürdiges dar. Längst hat man bemerkt, daß es Mineralmassen in der Erde gibt, welche sehr allgemein verbreitet, nicht an climatische Verhältnisse und geographische Lagen gebunden sind, und nicht von den Thieren und Pflanzen abhängen, welche auf der Erdoberfläche leben; ferner daß immer mehrere derselben mit einander wechseln und auf einerlei oder doch ähnlichen Ursprung hindeuten. Letztere hat man Gesteine einer Formation genannt. Bis in die neueste Zeit hat man 4 — 5 solche Formationen unterschieden, nämlich die Ur-, Uebergangs-, Flötz- und die tertiäre Formation, und sich die ganze Erdrinde von denselben gebildet gedacht. Aber diese Eintheilung kann vor der Masse der jetzt bekannten geognostischen Thatsachen nicht mehr bestehen; man ist aber nicht im Stande derselben eine andere zu substituiren, welche mit allen Ergebnissen der Beobachtungen im Einklang stünde. Jedes bisher in der Art aufgestellte geognostische System kann daher nur als ein Versuch betrachtet werden, den die Folgezeit zu berichtigen hat. Als ausgemacht kann man Folgendes ansehen: Einige Gesteine der Erdrinde sind geschichtet, unterliegen allgemeinen Regeln der Lagerung, lassen eine bestimmte Altersfolge bemerken und enthalten meistens Reste von Thieren und Pflanzen. Man kann sie mit Leonhard normale Gesteine nennen. Diese sind gewiß nicht durch Feuer entstanden und gelten vielmehr für Producte neptunischen Ursprungs. Sie sind in dem uns zugängigen Theile der Erdrinde am meisten verbreitet. Andere, man kann sie abnorme Gesteine nennen, zeigen keine Spur von Schichtung, wohl aber eine krystallinische Bildung, enthalten nie Reste von Thieren oder Pflanzen und können als Producte des Feuers angesehen werden. Viele derselben haben unläugbare Kennzeichen an sich, daß sie einmal geschmolzen waren (vulkanische Producte); bei anderen in diese Classe gehörigen läßt sich etwas der Art nicht nachweisen (plutonische Producte). Diese haben meistens ein krystallinisch körniges Gefüge und sind nie glasartig, bei jenen hingegen herrscht das Dichte und Porphyrartige vor und sie sind oft glasartig. In Bezug auf Verbreitung spielen die normalen Gesteine die Hauptrolle, nur in großen, nicht zugängigen Tiefen mögen die abnormen das Uebergewicht erlangen. Letztere treten meistens an den höchsten Stellen der Erde zu Tage, und man trifft sie überhaupt in gebirgigen Gegenden und in hoch liegenden Regionen häufig an, während sie in niedrig liegenden Landstrichen selten sichtbar werden. Oft findet man sie mitten zwischen weit verbreiteten normalen Gesteinen und zwar so zwi-

schen selbe hineingezwängt, daß man deutlich entnehmen kann, sie seyen von unten empor gedrungen. Die normalen Gebilde lassen sich in mehrere Formationen theilen. Aehnlichkeit der Charaktere, häufiges Zusammenvorkommen, gegenseitige Uebergänge eines in das andere, hauptsächlich aber gleiche Natur der organischen darin vorfindigen Reste, bestimmen die in eine Formation gehörigen Glieder. Ueber die Zahl und Benennung solcher Formationen sind die Geognosten nicht völlig einig, auch läge eine nähere Betrachtung derselben zu weit außerhalb unserem Gebiete. Die Substanzen, welche den uns bekannten Theil der Erdrinde bilden, sind größtentheils Verbindungen von Eisen, Kalk Thon- und Kieselerde, letztere macht allein 0,45 des Ganzen aus.

Viertes Kapitel.

Veränderungen der Erde.

136. Es kann wohl Niemand glauben, daß die Erde in dem Zustande, in welchem sie sich gegenwärtig befindet, aus den Händen des Schöpfers gekommen sey, da wir täglich Veränderungen an ihr bemerken, von vielen anderen authentische Nachrichten vorhanden sind, und die unzähligen Ueberbleibsel der organischen Körper, die Niederlagen verschütteter Wälder, abgelagerte Trümmer ehemaliger Gebirge, die Spuren verloschener Vulkane, die Gestalt der Thäler, die Formen vieler Gebirge und der Seeküsten u. a. hinreichende Beweise eines früheren, von dem gegenwärtigen verschiedenen Zustandes enthalten.

137. Der Fleiß der Menschen arbeitet unabläßig an der Umstaltung der Erdoberfläche, und selbst Thiere werden durch den Trieb der Selbsterhaltung gezwungen, zu demselben Zwecke hinzuarbeiten. So z. B. bauen die Madreporen fortwährend ihre Korallen und erhöhen dadurch den Meeresboden; wenn auch die Wirkungen ihrer Thätigkeit nicht so groß sind, wie man einst geglaubt hat, indem diese Thiere weder in sehr großen Tiefen noch über die See hinaus arbeiten können, so würden sie doch einzelne Meere für die Schifffahrt ganz untauglich machen, wenn nicht Wellen und Strömungen ihre Gehäuse wieder zum Theile zerstörten und fortführten. Auch die Pflanzenwelt trägt zur Umstaltung der Erdoberfläche das Ihrige bei. Fortwährend geht die Verwesung und die Bildung neuer Dammerde vor sich, die den Pflanzen wieder zur Nahrung dient. Viele im Wasser wachsende Gewächse von niederer Organisation, wie z. B. Conserven, werden zerstört und in Torf verwandelt. Nach von Marum's Erfahrungen bildet sich im Bassin von Harlem innerhalb fünf Jahren ein beinahe 3 Fuß tiefes Torflager.

138. Die Luft trägt sowohl im ruhigen als im bewegten Zustande viel zur Umstaltung der Erde bei. Durch ihren Einfluß verwittern viele Stoffe, und nicht selten hat eine Bergspitze ein so zerisse-

nes Aussehen deßhalb, weil die Verwitterung fortwährend an ihr arbeitet, und einige Stellen mehr angreift als andere; viele nun isolirt daliegende Felsenblöcke mögen Ueberreste verwitterter Gebirge seyn. D'Aubuisson sah in Schottland an vielen Stellen Basaltsäulen isolirt in die Höhe stehen, die doch als vulcanische Producte bei ihrem Entstehen eine feste Stütze haben mußten. Durch diese Wirkungen werden die Gebirge erniedrigt und die Thäler erhöht. Die bewegte Luft, der Wind, bringt besonders in solchen Gegenden, die mit Flugsand bedeckt sind, nicht unbedeutende Wirkungen hervor. Diesen Sandwehen ist es zuzuschreiben, daß in Sandwüsten die Oasen nach und nach die traurige Gestalt der Wüste annehmen, daß die Wüsten ihr Gebiet allmälig vergroßern, wie man auf der Karavanenstraße zwischen Cairo und Syrien am westlichen Ufer des Euphrat ꝛc. zu bemerken glaubt.

139. Noch größer sind die Wirkungen des Wassers. Das Meer wirkt durch alle seine Bewegungen zerstörend und erweiternd auf die Ufer. An einigen Gegenden erobert es mit langsamen Fortschritten einen Theil des festen Landes, an anderen tritt es wieder zurück, und läßt den Boden trocken hinter sich, ohne jedoch über das Festland ein größeres Uebergewicht zu gewinnen, als es bereits seit Langem besitzt. So findet man an der dalmatischen Küste Bauten im Meere, die offenbar auf trockenem Lande angelegt wurden, dafür liegen aber anderwärts viele Städte, die einst Seehäfen waren, ziemlich weit vom Meere entfernt. Das Ansetzen neuen Landes wird besonders durch Flüsse und Bäche bewirkt, die Steine und Erde von den höher gelegenen Gegenden ins Meer führen, und sie an den Mündungen liegen lassen. Sie spülen auch dort, wo ihr Lauf schnell ist, das Ufer ab, nehmen Erde, Sand und Steine streckenweise mit sich, setzen sie wieder ab, wenn ihre Geschwindigkeit vermindert wird, machen dadurch ihr Bett seichter, dehnen sich mehr in die Breite aus, oder ändern gar ihren Lauf. Nach Horner führt der Rhein innerhalb 24 St. nicht weniger als 445981 Kubik-Fuß fester Theilchen bei Bonn vorbei und nach Lyell führt der Ganges jährlich über 6 1/3 Millionen Tonnen fester Substanzen ins Meer. Manche Flüsse schwellen durch häufigen Regen an, überschwemmen das feste Land, und erhöhen es durch den Schlamm, den sie bei ihrem langsamen Rückzuge zurücklassen. In solchem Sinne nennt auch Herodot Unterägypten ein Geschenk des Nils. Wo sich Gewässer unter der Erde verlieren, arbeiten sie beständig an der Untergrabung des festen Landes, und bewirken dadurch die sogenannten Erdfälle, welche in Gebirgsgegenden, wo Erdmassen auf platten Felsen aufsitzen, nichts Seltenes sind. So versank 1585 das Dorf Mottingham bei Kent, 1618 stürzte eine Felsenwand des Corto auf den Flecken Plürs und das Dorf Scilano, 1806 wurden durch einen Bergsturz des Roßberges mehrere Ortschaften mit Schutt bedeckt, 1820 glitt das Dorf Stran in Böhmen an der Eger, welches auf einer, 1 Kl. hohen Lettenschichte am Abhange eines Berges erbaut war, in die Eger hinab. Auch der beim Dorfe Barbis am

Harze im J. 1825 Statt gehabte Erdfall scheint von der Untergrabung des Bodens durch Wasser herzurühren. Mit Hülfe der Temperatur sowohl der höheren als niederen bewirkt das Wasser auf der Erde ganz eigene Erscheinungen. Fällt es als Schnee aus der Atmosphäre herab, und häuft es sich an hohen Gebirgen an; so entstehen manchmal die sehr gefährlichen Schneestürze und Lawinen, welche ganze Ortschaften verschütten, Flußbetten verdämmen, und dadurch auf entfernte Gegenden wirken. Dringt das atm. Wasser in die Ritzen der Berge ein und gefriert darin, so dehnt es sich mit unglaublicher Kraft aus, zersprengt das festeste Gestein oder treibt es wenigstens aus einander, und befördert dadurch die Einwirkung anderer Ursachen.

140. Große Veränderungen gehen ohne Zweifel sowohl an der Oberfläche als im Inneren der Erde durch die Wirkung der elektrischen Ströme vor sich, welche durch die Berührung so differenter Stoffe, wie sie den Erdkörper ausmachen, bedingt werden. Das Daseyn solcher Ströme in den Erzgängen ist wiederholt nachgewiesen worden, und von der mächtigen chemischen Wirksamkeit derselben kann die Physik hinlängliche Beweise aufzählen. Becquerel hat durch schwache elektrische Ströme mehrere Mineralkörper erzeugt, die man sonst nicht künstlich zu erzeugen vermochte, und auch von mehreren in der Erde vorkommenden und sich unabläßig forterzeugenden Mineralien den elektrischen Ursprung nachgewiesen. (*Ann. de Chim.* 41. 5; 54. 145. Zeitschr. 6. 351.)

141. Schneller als durch die hier genannten Kräfte erfolgen große Veränderungen der Erde durch vulcanische Ausbrüche und durch Erdbeben. Wiewohl in den Vulcanen die innere Thätigkeit ohne Zweifel ununterbrochen fortdauert, so erfolgen doch nur manchmal kräftigere Ausbrüche. Die Vorboten derselben sind Rauchsäulen, die sich mit sehr großer Geschwindigkeit aus dem Krater des Vulcans erheben, und meistens aus Wasserdunst, Schwefel, Wasserstoffgas, kohlensaurem Gas bestehen, manchmal sogar auch Schwefelsäure und Salzsäure mit sich führen, und nicht selten ungeheure Regengüsse verursachen. So wie dieser Rauch häufiger wird, führt er auch Asche mit sich, und bekommt dadurch ein weißliches Ansehen, ja die Asche erscheint oft in so großer Menge, daß dadurch die benachbarten Gegenden völlig verfinstert werden. Winde führen sie in Gegenden, welche viele Meilen weit vom Vulcane entfernt sind. So wird erzählt, daß man beim Ausbruche des Vesuvs im J. 1794 vier Meilen weit selbst bei Tage nur mit Fackeln herumgehen konnte, und daß die ganze, 50 Meilen weit entfernte Gegend von Calabrien ganz in Wolken gehüllt war. Auf die Asche folgt gewöhnlich feiner Sand. Dieser wird von vielen Vulcanen in so großer Menge ausgeworfen, daß er bei manchen, wie z. B. beim Aetna, die Hauptmasse des Berges bildet, aus dem der Ausbruch erfolgt. Zu diesem kommen noch Schlacken von Materien, welche im vulcanischen Herde geschmolzen und emporgeschleudert werden, dabei erhärten, und in Gestalt abgerundeter Massen (vulcanische Bomben) herabfallen, wohl auch ungeschmolzene Steine,

die wahrscheinlich von den Wänden der inneren Höhlungen losgerissen werden. Die Kraft, mit der diese fortgeschleudert werden, ist ungeheuer. Der Vesuv soll sie auf 3600 F. über den Krater in die Höhe treiben, und bei einem Ausbruche des Cotopaxi in Südamerika soll ein Felsenstück von 900 Kubikfuß 3 Meilen weit geschleudert worden seyn. Mit minderer Kraft dringt die Lava hervor. Sie steigt selten bei großen Vulcanen bis zum eigentlichen Krater des Vulcans, sondern sucht sich durch Druck oder durch Schmelzung der Seitenwände einen Weg, fährt da schnell, wie geschmolzenes Metall hervor, gräbt sich im Sande, der die Seiten des Berges umgibt, ein Bett aus, und bewegt sich vorwärts. Wiewohl die Geschwindigkeit, mit der sie fortfließt, von der Neigung des Bodens und von der Zähheit und Menge der Masse abhängt, so ist sie doch nur selten groß. Auf ebenem Boden geht sie kaum in einer Stunde um einige Schritte vorwärts. Dabei wird sie immer zäher und nimmt oft kaum, wenn sie auch noch fließt, von einem hineingeworfenen Steine Eindrücke an. Hamilton durchging sogar einmal einen 20 Schritte breiten, noch im Flusse begriffenen Strom. Deßungeachtet ist sie nur mit einer harten Rinde überzogen, im Inneren glüht sie noch und ist flüssig, ja man erzählt von Strömen, die nach Jahren noch im Inneren flüssig waren. Spallanzani ging über Lava, die seit einem Jahre nicht mehr floß, aber im Inneren noch einen hineingestoßenen Stock anzündete, und Hamilton erfuhr etwas Aehnliches bei der Lava des Vesuvs, die vor 3½ Jahren ausgeflossen war. Man ersieht wohl hieraus, daß die Lava anfänglich eine ungemein hohe Temperatur haben muß, und wirklich fand man, daß Flintensteine, welche von einem Lavastrome eingehüllt wurden, an der Oberfläche geschmolzen und verglaset, und daß Stücke Eisen im Inneren krystallisirt waren. Außer den hier erwähnten Stoffen werfen die Vulcane noch Ströme heißen Wassers aus; vorzüglich verbreiten die amerikanischen Vulcane oft dadurch Ueberschwemmungen rings umher. Ein Theil dieses Wassers mag auch wohl vom geschmolzenen Schnee kommen, der die Gipfel mancher Vulcane bedeckt. Alle diese Erscheinungen finden bei einigen vulcanischen Ausbrüchen Statt, während sich bei anderen nur einige derselben ereignen. So haben die Vulcane in Amerika Cotopaxi, Pichincha, Turgurahua seit Menschengedenken keine wahre Lava ausgeworfen, wiewohl sie dieses ehemals gethan haben mögen, weil sich in ihrer Nähe Lava befindet, sondern bloß Asche, Schlacken und Steine, Wasser und Schlamm, wahrscheinlich, weil sich die Lava nicht bis zu ihrem Krater erheben und die ungeheuer dicken Seitenwände nicht schmelzen kann; die Vulcane in Peru und Quito verheeren das Land überhaupt immer nur durch Wasser- und Schlammauswürfe. Diese Wässer führen sogar manchmal lebendige Fische von derselben Art, wie sie in den benachbarten Bächen leben. Der Vulcan von Macaluba bei Girgenti wirft nur Thon und Wasser aus; dasselbe thun auch einige Vulcane in der Umgebung von Modena, auf den Inseln Tamom, Java rc.

142. Die Ruhezeit eines Vulcans scheint im Allgemeinen mit der Höhe seines Kraters im geraden Verhältnisse zu stehen. So brennt der niedere Stromboli fast immer, seltener geschehen Ausbrüche des höheren Vesuvs, noch seltener die des noch höheren Aetna. Der hohe Pick auf Teneriffa hatte in 92 Jahren nur einen Ausbruch, während der Vesuv 16mal wüthete. Allein die Zeit von einem Ausbruche zum andern ist bei demselben Vulcane keineswegs immer dieselbe, oft folgen mehrere Ausbrüche schnell auf einander, oft unterbleiben sie ungewöhnlich lange. So schlummerte der Vesuv seit undenklichen Zeiten, als er unter Titus plötzlich wieder erwachte, und die Städte Pompeji, Herculanum und Stabiä vergrub. Die Bewohner von Catanea hielten die Ausbrüche des Aetna, wovon die Geschichte erzählte, für Fabel, bis sie durch einen Ausbruch, der ihre Stadt zerstörte, die traurige Ueberzeugung vom Gegentheile gewannen. Ueberhaupt ist die Ruhe eines Vulcans meistens nur scheinbar; denn wenn auch keine größeren Katastrophen erfolgen, so geht es doch im Inneren sehr thätig zu, es steigt Rauch auf, man hört ein inneres Getöse 2c. Es scheint im Ganzen die vulcanische Thätigkeit der Erde im Abnehmen zu seyn.

Merkwürdig ist, was Spallanzani vom Aetna erzählt, in dessen Krater er im Jahre 1788 hineingehen konnte, weil derselbe ganz ruhig war. Er bemerkte in der Tiefe eine Oeffnung von etwa 30 Fuß, aus der sich eine Rauchwolke erhob, er sah, als der Wind diese Wolke seitwärts trieb, in der Tiefe der Oeffnung eine flüssige entzündete Masse, die immer leicht aufwallte, fiel und stieg. Auf dem Gipfel des Stromboli sah er gar die Bewegungen der Lava sehr deutlich. Sie glich geschmolzener Bronze, sank und stieg, und wurde an der Oberfläche von großen Blasen aufgebläht, die beim Zerplatzen ein Donner ähnliches Geräusch machten.

143. Die vulcanischen Herde müssen im Inneren der Erde von sehr beträchtlichem Umfange seyn. Dieses beweist die ungemeine Menge der Stoffe, die oft bei einer einzigen Eruption hervorgetrieben wird, und der Umstand, daß die meisten Vulcane aus vulcanischer Masse bestehen. So floß aus dem Aetna i. J. 1699 so viel Lava hervor, daß daraus vier Vesuve hätten gebildet werden können, die Asche gar nicht mitgerechnet. Es ist auch sehr wahrscheinlich, daß die Werkstätte der meisten Vulcane mit einander in Verbindung stehen; denn oft treffen ihre sonst nicht so häufigen Ausbrüche zugleich ein, und manchmal wechseln entfernte Vulcane mit einander ab. So brachen i. J. 1769 der Aetna und mit ihm zugleich die Vulcane auf den liparischen Inseln aus, die Vulcane Islands und Kamtschatkas tobten oft zugleich, und i. J. 1693 versank im großen indischen Ocean die Insel Sorca in Folge eines Ausbruches des dortigen Vulcans an demselben Tage, an welchem der Aetna am furchtbarsten wüthete. Der Hekla und Vesuv wechseln oft mit einander ab.

144. Daß bei den Phänomenen der vulcanischen Ausbrüche expansible stark erhitzte Massen hauptsächlich thätig sind, daran ist kaum

zu zweifeln; daß unter diesen wieder die Wasserdämpfe eine große Rolle spielen, zeigt das Hervordringen derselben aus den Schlünden der Vulcane, und der Umstand, daß es wohl im Inneren der Erde, besonders in so großer Tiefe, wo sich der vulcanische Herd befinden mag, an Wasser nicht gebrechen kann, ohne daß dazu gerade die Nähe des Meeres nöthig ist Allein es handelt sich vorzüglich darum, wodurch die Erhitzung entstehe, welche Dämpfe und eingesperrte Luftarten erzeugt, und das innere Gestein eines Vulcans schmilzt. Die äußere Luft kann keinen wesentlichen Antheil daran nehmen, weil diese da nicht eindringen kann, wo so stark condensirte Gasarten mit solcher Gewalt hervorkommen. Nach dem jetzigen Standpuncte der Naturlehre kann diese Erhitzung erklärt werden: 1) durch die innere elektrische Thätigkeit der Erde, vorzüglich durch jene, welche die Berührung ihrer ungleichartigen Bestandtheile erzeugt; 2) durch chemisches Einwirken der Stoffe auf einander, besonders des Wassers und der metallinischen Grundlagen der Erden, welche im Inneren der Erde wahrscheinlich noch im reinen Zustande vorhanden sind. 3) Kann sich die Erde noch von der Urzeit her in ihrem Inneren im flüssigen, geschmolzenen Zustande befinden. Eine elektrische Thätigkeit im Inneren der Erde von solcher Intensität, wie sie zu den hier in Rede stehenden Phänomenen erfordert wird, dürfte sich wohl schwerlich nachweisen lassen; eine Entzündung brennbarer Massen (z. B. der Schwefelkiese) im Inneren der Erde durch chemische Wirkung reicht nicht aus zur Erklärung aller bei vulkanischen Ausbrüchen vorkommenden Phänomene, wo die Feuererscheinungen bei weitem nicht die Hauptsache sind; es ist nicht begreiflich, wie der innere metallische Erdkern immer noch mit Wasser in Berührung kommen kann, da doch die einmal gebildete Orydrinde den Zutritt desselben hindern muß. Demnach bleibt nur die dritte Ursache übrig, und aus dieser lassen sich in der That alle vulcanischen Erscheinungen vollkommen erklären. Gelangt nämlich Wasser in jene Tiefen der Erdrinde, wo Glühhitze herrscht, so geht es in sehr expansible Dünste über, und wirkt auch auf die daselbst befindlichen orydirbaren Körper (z. B. Eisen), es wird zersetzt, sein Wasserstoff nimmt Gasform an, und dieses Gas, so wie jene Dämpfe, sind das Hauptagens bei den vulcanischen Eruptionen gerade so, wie sie es bei Pulverexplosionen sind. (Ueber Vulcane siehe: Hamilton's Beobachtungen über den Vesuv, den Aetna und über andere Vulcane, aus d. Engl. Berlin 1763. Desselben neuere Beobachtungen über die Vulcane Italiens und am Rhein. Frankfurt und Leipzig 1783. Dolomieu, Reise nach den liparischen Inseln. Aus d. Franz. Leipzig 1783. Spallanzani, Reise nach den beiden Sicilien. Leipzig 1795. D'Aubuisson's Geognosie. Dresden 1821. I. Bd. S. 150 u. f. Ueber den Bau und die Wirkungsart der Vulcane von A. Humboldt. Berlin 1823. *Scrope on the volcanos. London* 1825. Buch in Pogg. Ann. 10. 169. Davy in Zeitschr. 5. 222.)

145. Mit den Ausbrüchen der Vulcane stehen die Erdbeben

in Verbindung. Diese sind horizontale, zuweilen wirbelnde Schwingungen des Bodens, die in unbestimmten Zwischenräumen nach verschiedenen Richtungen, mit großer aber meßbarer Geschwindigkeit geschehen, und oft von starken, senkrecht in die Höhe gehenden Stößen begleitet sind. Dabei spaltet sich oft mit einem unterirdischen Getöse die Erde, es dringen Wasser und entzündete, schwefelig riechende Dämpfe hervor, das Meer und die Atmosphäre werden unruhig, Gebäude stürzen ein und begraben die unglücklichen Bewohner unter ihren Trümmern, neue Seen werden gebildet, alte ausgetrocknet, Berge aus dem Meere und auf dem flachen Lande in die Höhe getrieben, schon vorhandene verschlungen, und so ganze Gegenden verwüstet und umgestaltet. Die Erdbeben sind an keine Jahres- oder Tageszeit gebunden, sie ereignen sich in kalten und warmen, nassen und trockenen Jahren, und bei jedem Alter des Mondes. Meistens sieht man plötzliche Stürme, große Unruhe des Meeres und der Seen, unregelmäßiges Fließen der Quellen, ein dumpfes unterirdisches Getöse, Unruhe der Thiere, trübe Beschaffenheit der Luft als Vorboten dieses traurigen Ereignisses an, doch kann man keines von allen diesen für ein untrügliches Vorzeichen halten, weil sie eintreten, ohne daß ein Erdbeben darauf erfolgt und manche Erdbeben ohne sie erfolgen. — Die Ursache der Erdbeben ist gewiß dieselbe, welche in Vulcanen vorzüglich und zwar concentrirt thätig ist. Es ist aber nicht nöthig, anzunehmen, daß überall, wo man Stöße verspürt, die Ursache der Erdbeben unmittelbar wirke, indem sich die Erschütterungen nach Art des Schalles fortpflanzen können. (Kries, von den Ursachen der Erdbeben. Gekrönte Preisschrift. Leipzig 1826.)

146. So wirksam auch die bisher besprochenen, auf beständige Veränderung der Erdoberfläche hinarbeitenden Kräfte sind, und wie sehr sich auch durch die Länge der Zeit ihre Wirkungen anhäufen mögen; so können wir doch daraus nicht alle Umwälzungen der Erde ableiten, von denen uns die gegenwärtige Beschaffenheit der Erdrinde die unumstößlichsten Beweise liefert. Wie ausgedehnt, hoch und anhaltend müßten jene Ueberschwemmungen gewesen seyn, von welchen Conchylien und andere Wasserthiere in mehrere Fuß hohen Lagern auf den Gipfeln der höchsten Berge abgesetzt wurden, wie oft müßten sich derlei Ueberschwemmungen wiederholt haben, wenn von ihnen so viele, durch fremdartige Zwischenlager getrennte Ablagerungen organischer Reste herrühren sollten, und wie wäre es begreiflich, daß sich hie und da an höheren Stellen mehr derlei Absätze gebildet haben, als an tiefer liegenden? Es gibt uns aber der Bau der Erde selbst den Fingerzeig, wo wir die Quelle so umfassender Veränderungon derselben zu suchen haben. Die abgerundete, am Aequator durch die Schwungkraft herausgetriebene Gestalt der Erde beweiset hinreichend, daß sich dieselbe einst in einem flüssigen Zustande befunden habe, und die krystallinische Beschaffenheit der untersten bekannten Lagen der Erdrinde, ihr Eindringen zwischen andere Gebirgsarten 2c., zeugen für den Ursprung derselben aus einer geschmolzenen Masse, und begründen die

Annahme, der flüssige Zustand sey nicht durch Einwirkung eines chemischen Auflösungsmittels, sondern durch Hitze hervorgebracht worden. Damit stimmt auch die (später weiter anzuführende) Erfahrung vollkommen überein, daß noch gegenwärtig die Erde eine ihr eigenthümliche Temperatur besitze, welche von außen gegen innen zunimmt, und berechtiget zu der weiteren Folgerung, daß sich der Erdkern noch gegenwärtig in einem geschmolzenen Zustande befinde, und nur mit einer festen Kruste überzogen sey. Im geschmolzenen Zustande mußte wohl die Erde ohne Erhöhungen und Vertiefungen seyn, und das etwa auf ihr befindliche Wasser konnte bei so hoher Temperatur nur unter einem mächtigen Drucke bestehen, zu dessen Erzeugung die vorhandene heiße Dunstmasse selbst das Meiste beitragen konnte. So wie aber der Proceß des Festwerdens begann, mußten sich durch den Krystallisationsproceß Erhöhungen, mithin auch Vertiefungen bilden, wie wir dieses an geschmolzenen, gestehenden Massen so häufig im Kleinen bemerken. Somit liegt der Grund zur Entstehung der Unebenheiten der Erde im Abnehmen ihrer Temperatur.

147. Die Beschaffenheit, Lagerungsweise, Menge und Mannigfaltigkeit der in normalen Felsgebilden vorkommenden, organischen Ueberreste und die Lagerung der Schichten dieser Formationen zeigen deutlich, daß hier mehr als ein ruhiges Absetzen aus Wasser im Spiele gewesen sey. Die Schichten dieser Gebirge befinden sich in ebenen Gegenden in fast horizontaler Lage, in der Nähe von bergigen Gegenden liegen diese Schichten geneigt, an den Abhängen der Berge beinahe oder völlig vertical. Wären solche Schichten in verticaler Lage vom Wasser abgesetzt worden, etwa so, wie sich noch heut zu Tage Stalactiten an verticalen Wänden aus Wasser abschneiden; so müßten diese Lagen, wenn sie an zwei Bergen vorhanden sind, in allen Zwischenpuncten in gleicher Höhe gefunden werden. Dieses ist aber nicht der Fall. Die Kalkschichten des hohen Buet in Savoyen und des Montperdu sind gleichzeitige Formationen mit jenen an den Küsten des Canals, und doch erstrecken sich solche Formationen im nördlichen Frankreich nicht über 600 F. Ferner liegen nach Saussure's Beobachtungen die eiförmigen Kieselgeschiebe, welche sich oft in den Flötzgebirgen befinden, dort wo die Schichten eine horizontale Lage haben, stets so, daß ihre große Axe horizontal ist, mithin in ihrer stabilsten Lage; wo aber die Erdschichten geneigt sind, da sind auch die großen Axen aller Geschiebe, welche in der Richtung dieser Neigung liegen, eben so geneigt, und nur jene trifft man noch mit der großen Axe in horizontaler Lage an, bei denen diese Axe mit der Ebene der Neigung einen rechten Winkel macht. Diese Gründe machen es höchst wahrscheinlich, daß selbst, nachdem die Erdkruste schon gebildet war, noch durch den fortgesetzten Erstarrungsproceß neue Berge aus dem Inneren der Erde emporgestiegen seyen und die Kruste durchbrochen haben, ja daß solche Emporhebungen noch gegenwärtig Statt finden. Nach Pöppig sah man in der Südsee im Jahre 1825 einen schwarzen, vegetationsleeren Fels, der einige Fuß über das Wasser hervorragte. Er bestand aus

einem breiten Ringe von 800 Schritt Durchmesser, der in der Mitte einen kleinen Teich hatte; aus mehreren Rissen des Ringes stieg Rauch, das Wasser war in der Nähe heiß, und selbst noch in der Entfernung von 4 engl. Meilen um 10—15° F. wärmer als anderwärts in gleicher Breite. Der Krater fiel so schnell ab, daß man schon bei 100 Faden Entfernung keinen Grund mehr finden konnte. Auf der flachen und fruchtbaren azorischen Insel St. Maria fand man nach Jahresfrist alles umgeworfen und zerstört, und statt der Fläche einen 2000 F. hohen Berg, mit einem Krater von 15 engl. Meilen im Durchmesser. Im Krater von Astruin erheben sich gegen 200 F. hohe Hügel aus Trachyt ohne Lava, fest und zusammenhängend. Der Boden des Kraters von Santorin erhebt sich von Jahr zu Jahr mehr, und ist jetzt schon der Meeresfläche nahe, während er früher über 600 F. unter derselben lag. Diese Krater sind aber keine Vulcane, und selbst die der jetzt noch thätigen Vulcane können nicht durch Anhäufen von Lavaströmen entstanden, sondern müssen Erhebungskrater seyn, weil bei denselben die Lava eine zusammenhängende, nur hie und da durch Klüfte unterbrochene Masse bildet, und nach Buch und Beaumont's Messungen Laven einen solchen Zusammenhang nur behalten, wo sie über einen unter $4^1/_2$° geneigten Abhang fließen. Die Hypothese der Emporhebung hat so viel innere Wahrscheinlichkeit, und wird von so vielen äußeren Gründen unterstützt, daß sie gegenwärtig fast allgemein von Geologen angenommen wird. Man kann daraus nicht bloß das Vorkommen dicker Muschellagen auf den Gipfeln der höchsten Berge leicht begreifen, da diese einst tief liegender Meeresboden waren, sondern auch das relative Alter der einzelnen Gebirge nachweisen, wie dieses Beaumont mit Glück an vielen Gebirgen gethan hat. Denn es ist klar, daß solche Emporhebungen zu verschiedenen Zeiten eingetreten seyn können, und daß jene Flötzgebirge, deren Schichten an den Abhängen der Gebirge nicht in horizontaler Lage vorkommen, bei der Erhebung der Gebirge schon vorhanden waren, mithin älter seyen als diese; jene aber, die sich in horizontaler Lage bis zum Fuße der Gebirge erstrecken, müssen von jüngerer Bildung seyn, als die Gebirge. Diesen Kriterien gemäß sind das sächsische Erzgebirg, der Côte d'Or in Burgund, und der Mont Pilas in Forez unter den von Beaumont untersuchten Gebirgen die ältesten; weit jünger ist das Bergsystem der Pyrenäen und Apenninen, noch jünger jenes der östlichen Alpen mit dem Montblanc. Der Hauptgebirgsstock der Alpen, mehrere Ketten der Provence, der Balkan, der Caucasus, die Himalayagebirge und der Atlas sind viel späteren Ursprunges. Merkwürdig ist es, daß die gleichzeitig entstandenen Gebirge stets in einem größten Kreise der Erde liegen, und daß demnach auch die Puncte des kleinsten Widerstandes dieselbe Lage haben mußten. Diesen Umstand benützte Beaumont, um darnach das Alter jener Gebirgsketten zu bestimmen, an denen er den Prüfstein des oben angegebenen directen Kennzeichens ihres Alters nicht anlegen konnte, und so ist er dahin gelangt, dreizehn einzelne Emporhebungen an-

zunehmen. (Humboldt in Pogg. Ann. 25. 1; v. Buch ebend. 37. 169.)

148. Noch keine der in ungeheurer Anzahl aufgestellten geologischen Hypothesen hat sich so reich an leichten und naturgemäßen Folgerungen dargestellt, wie die eben genannte. Es ist klar, daß die Emporhebung eines Gebirges aus dem Inneren der Erde desto mehr Kraft fordern, aber auch ein desto größeres Product liefern müsse, je dicker die bereits gebildete Erdkruste zur Zeit dieser Katastrophe war, mithin je später sich dieselbe ereignete, und in der That sind die jüngeren Gebirge auch die höchsten. Daß bei solchen Ereignissen ein vielfaches Bersten und eine Theilung der emporgehobenen Massen eintreten mußte, ist nicht zu bezweifeln, und daher mögen viele Thäler ihren Ursprung haben. Man braucht nun nicht mehr zu fragen, wie denn die im Jura angetroffenen Granitstücke von den Alpen durch das Thal der Aar an ihren jetzigen Platz kommen konnten; denn das Juragebirge ist jünger als die Alpen und das Thal der Aar. Daß an der Stelle solcher gewaltiger Naturereignisse Thiere schnell und in Masse zu Grunde gehen mußten, ist leicht zu errathen, und daraus begreift man wohl, warum man ganze Nester von Thieren in Lagen antrifft, die deutlich zeigen, daß dieselben eines schnellen Todes gestorben seyen, wie z. B. Fische, die ganz ausgestreckt, oft noch den Raub festhaltend oder mit der jüngst verschlungenen Beute im Magen, angetroffen werden. Erhebungen des festen Landes aus dem Meere mußten nothwendig das Gleichgewicht des Wassers stören, weit ausgedehnte Ueberschwemmungen hervorbringen, und hiermit mittelbar die Wirkungen erzeugen, welche mit Ueberschwemmungen stets verbunden sind. Daß die mit der fortschreitenden Erkältung der Erde nothwendig verbundene Rückkehr des bei ihrer ursprünglich hohen Temperatur in Dämpfe verwandelten Wassers zu ähnlichen Katastrophen den Grund legen konnte, ist einleuchtend.

Folgende Werke können zu einem ausführlichen Unterrichte in diesem Abschnitte dienen:

(Physische Erdbeschreibung von Mitterbacher. Wien 1750. Kant's physische Geographie. Königsberg 1802. Bode's Kenntniß der Erdkugel. Berlin 1820. Förster's Einleitung in die allgemeine Erdkunde. Berlin 1820. Allgemeine physikalische Erdbeschreibung von Hochstetter. Stuttgart 1823. Band 2 und 3. Gemälde der phys. Welt von J. G. Sommer. Prag 1818—1825. Physikalische Geographie von Fr. Hoffmann. Berlin 1837. Gehler's Wörterb. neu bearb. Artikel: Erde (Erdkruste). Lehrbuch der mathem. u. phys. Geographie von Dr. J. C. Schmidt. 2 Bde. Göttingen 1830. Handbuch der mathematischen und physischen Geographie nebst Atmosphärologie von Dr. G. W. Muncke. Heidelberg 1830. Handbuch der physikalischen Erdbeschreibung von H. H. Link. Berlin 1826. Geschichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche von Hoff. Gotha 1822. *De la Metherie leçons de Géologie. Paris* 1816.

Bakewell Einleitung in die Geologie 2c. Freiberg 1815. Reichetzer Anleitung zur Geognosie. Wien 1821. D'Aubuisson Geognosie. Dresden 1821. Neues System der Geologie, von A. Ure 1830. *Elémens de Géologie par J. D'Omelius d'Halloy. Paris* 1831. *A. Geological Manual by H. De la Bêche. London* 1831. Ins Deutsche übersetzt von Dechen, unter dem Titel: Handbuch der Geognosie von *De la Bêche.* Berlin 1832. *A System of Geology by J. Macculloc. London* 1831. *Principles of Geology by Ch. Lyell. London* 1830. Grundzüge der Geologie und Geographie von K. R. Leonhard. Heidelberg 1839. Die Phänomene der Geologie von Dr. G. Mantell. Aus dem Englischen. Bonn 1839. Geschichte der Geognosie von Fr. Hoffmann. Berlin 1838.)

Dritter Abschnitt.

Meteorologie.

149. Die Atmosphäre unserer Erde ist beständig inneren Bewegungen und Veränderungen unterworfen, unaufhörlich wird das Gleichgewicht in ihr gestört, weil bald dort, bald da Aenderungen in der Temperatur und im Drucke der Luft eintreten, und durch die ununterbrochen vor sich gehenden chemischen Prozesse, so wie durch das Leben der Thiere und der Pflanzen die Bestandtheile der Atmosphäre beständig geändert werden, mithin immer neue Ausgleichungen nöthig sind. Dazu kommen noch diejenigen Erscheinungen im Luftkreise, welche durch das Licht, die Elektricität und vielleicht auch durch manche, unseren physikalischen Laboratorien ganz fremde Thätigkeiten hervorgebracht werden. Diese Phänomene folgen bald ganz regelmäßig, bald ohne erkennbare Regelmäßigkeit mit verschiedenem Grade der Geschwindigkeit auf einander, und machen zusammen die Witterung, oder, wie man zu sagen pflegt, das Wetter aus. Die Erscheinungen des Luftkreises auf erkannte Naturgesetze zurückzuführen, ist der eigentliche Gegenstand der Meteorologie, die man ja nicht mit der Meteorognosie (Meteoromantie) oder der Kunst, die Witterung vorherzusagen, verwechseln darf. Von letzterer kennen wir kaum mehr als einige wenige Fragmente, die sich überdieß meistens nur auf einzelne Gegenden beziehen.

Erstes Kapitel.

Von der Atmosphäre und ihren Veränderungen überhaupt.

150. Es ist eine natürliche Folge der Schwere und Ausdehnsamkeit der Luft, daß sie die Erde ringsum wie eine Schale einhülle und sich bis zu einer Höhe erstrecke, wo jedes ihrer Theilchen eben so von einem zunächst darunter befindlichen abgestoßen werde, als es selbst durch seine Schwere zur Erde herabgezogen wird. Hätte die Atmosphäre allenthalben einerlei Temperatur, so würde die Luft in gleichen Entfernungen von der Erde Mittelpunct eine gleiche Dichte und Expansivkraft besitzen, und ihre äußerste Begrenzung eine dem Erdkörper nahe ähnliche Gestalt haben. Die ungleiche Vertheilung der Wärme in der Atmosphäre bewirkt aber namhafte Abweichungen von diesem

Verhalten. Dort, wo die Temperatur höher ist, muß auch die ganze Luftsäule höher seyn, und da im Allgemeinen die Temperaturen vom Aequator der Erde gegen die Pole zu abnehmen, so muß auch schon darum die Höhe der Atmosphäre gegen die Pole hin geringer werden und die äußerste Grenzfläche der Atmosphäre ein noch mehr abgeplattetes Sphäroid vorstellen als die Erde selbst; ja da, wie die Folge lehren wird, die Wärmeverhältnisse der südlichen Halbkugel von denen der nördlichen ziemlich stark abweichen, so muß auch der Luftkörper über der südlichen Hemisphäre eine andere Gestalt haben, als über der nördlichen.

151. Um die Gestalt der Lufthülle näher zu bestimmen und die Höhe der Atmosphäre an irgend einer Stelle der Erde angeben zu können, müßte man nicht bloß die Temperatur der Luft an der Erdoberfläche, sondern auch in der ganzen Luftsäule kennen. Letztere Kenntniß kann man sich begreiflicher Weise nicht auf dem Erfahrungswege verschaffen, aber man hat, um sie erschließen zu können, das Gesetz gesucht, nach welchem die Temperatur der Luft von unten nach oben abnimmt. Bis jetzt ist man noch zu keinem ganz befriedigenden Resultate gelangt, aber es hat den Anschein, als wenn für Abstände von der Erdoberfläche, welche Glieder einer arithmetischen Reihe sind, die Temperaturen Glieder einer geometrischen Progression wären. Legt man dieses Gesetz zu Grunde und nimmt mit Schmidt an, es sey in einer Höhe von 121,1 Toisen die Temperatur um 1° R. geringer als an der Erdoberfläche; so findet man an der Stelle der Erde, wo für den Barometerstand von 337,3 P. L. die Temperatur 22°,4 R. beträgt, wie dieses unter dem Aequator der Fall ist, die Höhe der Atmosphäre = 27,5 geogr. Meilen; für jene Stellen hingegen, wo bei demselben Barometerstande die Temperatur 0° R. herrscht, diese Höhe = 27,1 geogr. Meilen. (Schmidt in Gilb. Ann. 62. 309. Zeitschr. 8. 420.)

152. Wären die Wärmeverhältnisse in der Atmosphäre unverändert dieselben, und unterläge die atmosphärische Luft selbst keinen materiellen Veränderungen; so wäre nicht einzusehen, wie sich an einem Orte die Dichte oder Expansivkraft der Luft ändern könnte; allein die immerwährend Statt findenden materiellen Veränderungen, noch mehr aber die Aenderungen der Temperatur verursachen beständige Störungen des Gleichgewichtszustandes, ändern beständig stellenweise die Expansivkraft, Dichte und den Druck der Luft, und erzeugen selbst an der Oberfläche der Atmosphäre ein immerwährendes Wogen. Die Hauptbestandtheile der atm. Luft, das Sauerstoff- und Stickgas weisen sich selbst nach den neuesten und sorgfältigsten Untersuchungen von Boussingault immer mit 0,21 Sauerstoffgas und 0,79 Stickgas dem Volum nach, und mit 0,23 Sauerstoff und 0,77 Stickstoff dem Gewichte nach aus. Doch können selbst die sorgfältigsten Experimentatoren mit den besten jetzt bekannten Instrumenten nicht mehr $\frac{1}{10}$ Volumpercent verbürgen, und alles, was innerhalb dieser Grenze vor sich geht, ist für uns so viel wie nicht vorhanden. Wir wissen, daß das Wasser aus

der Atmosphäre ein Drittel mehr Sauerstoff absorbirt als Stickgas, daß Menschen und Thiere fortwährend Sauerstoffgas beim Athmen consumiren, daß gährende und im Verbrennen begriffene Stoffe dieses Gas aufnehmen, während wir nur eine einzige im Großen wirksame Quelle von Sauerstoffentwicklung kennen, nämlich den Lebensproceß der Pflanzen, vermöge welchem sie Kohlensäuregas einsaugen und dafür Sauerstoffgas von sich geben. Alle diese Veränderungen in der Zusammensetzung der atm. Luft müssen demnach innerhalb die oben angegebenen Grenzen fallen, weil wir ihren Einfluß nicht bemerken.

Ein Mensch verzehrt nach Lavoisier in 24 St. 45000 Par. Kubikzoll oder 26,04 K. F., mithin in 1 Jahr 9505 K. F. Sauerstoffgas; das ganze Menschengeschlecht zu 1000 Millionen Menschen angeschlagen, nimmt demnach in einem Jahre nicht mehr als 0,7975 K. Meilen dieses Gases in Anspruch. Dieses gäbe aber in der ganzen Atmosphäre nur eine 0,282 L. hohe Schichte; $^1/_{10}$ p. C. der ganzen Atmosphäre könnte das ganze Menschengeschlecht durch 10000 Jahre mit Sauerstoff versorgen.

153. Außer den eben erwähnten, scheinbar unwandelbaren Bestandtheilen enthält die Atmosphäre noch mehrere andere untergeordnete und in hohem Grade veränderliche Stoffe, nämlich Wasserdunst, Kohlensäuregas, Ammoniakgas, nach Umständen auch sogar Spuren von Salzsäure, Salpetersäure und Kohlenwasserstoff. Wasserdunst wird fortwährend gebildet und wieder in tropfbaren Zustand zurückgeführt und somit sowohl der absolute als der relative Feuchtigkeitszustand der Luft immerfort geändert. Nicht anders geht es mit dem Gehalte an Kohlensäuregas. Dieses wird durch das Athmen der Menschen und Thiere, durch das Verbrennen der Vegetabilien, durch Gährung und andere chemische Processe erzeugt, und von den Pflanzen zum Behufe von Absonderung des Kohlenstoffes und Ausscheidung von Sauerstoff aufgenommen. Dieses Gas ist wegen seiner großen Dichte nicht einer schnellen Verbreitung fähig, und häuft sich daher leicht an dem Entstehungsorte unverhältnißmäßig an. Der Gehalt der Atmosphäre an diesem Gase beträgt durchschnittlich nach Th. Saussure 0,0415 p. C. dem Volumen, oder 0,0632 p. C. dem Gewichte nach, steigt aber an trockenen Tagen und sinkt an feuchten, ist größer bei windigem Wetter, auf Bergen und über festem Land, als bei windstillem Wetter und im flachen Lande oder über Wasser. Die Fäulniß thierischer Körper liefert fortwährend Ammoniak, ja alle thierischen Körper geben zuletzt ihren gesammten Stickstoff in dieser Form an die Atmosphäre ab. Das in der Luft enthaltene Wasser nimmt das Ammoniak auf, und fällt mit demselben in Form von Regen oder Schnee herab, aus dem Regen- und Schneewasser verdampft aber ein Theil Ammoniak wieder von neuem. Man kann es wegen seiner geringen Menge in der Luft nicht entdecken, im Regenwasser aber, das man mit Zusatz von Schwefelsäure oder Salzsäure zur Trockne abgedampft hat, läßt es sich unbezweifelt nachweisen, wie Liebig zuerst gezeigt hat.

Die Luft ist selten wegen Mangel an Sauerstoff, sondern meistens wegen Anwesenheit anderer irrespirabler Gase erstickend. Man prüft sie an verdächtigen Orten dadurch, daß man ein Licht an einer Stange vor sich herträgt, und sich durch das Erlöschen desselben an die Rückkehr mahnen läßt, doch sichert dieses nicht immer vor Unglück; denn lichtverlöschend und unathembar sind zwei sehr verschiedene, nicht immer gleichzeitig vorhandene Eigenschaften. Es gibt Luftarten, in denen die Lichter vorzüglich brennen und doch Menschen ersticken, und andere, in denen kein Geleuchte brennt, aber Menschen leben können; glücklicher Weise kommen aber die ersteren seltener vor, als die letzteren. Atmosphärische Luft kann $\frac{1}{10}$ Kohlensäuregas dem Volum nach enthalten, ohne schädlich zu werden, $\frac{1}{250}$stel Volum Schwefelwasserstoffgas der atm. Luft beigemengt, tödtet nach Dupuytren schon in einer Minute ein Pferd, $\frac{1}{833}$stel einen Hund von mittlerer Größe, $\frac{1}{1500}$tel einen Vogel auf der Stelle. Thenard empfiehlt darum auch dieses Gas zum Vertilgen schädlicher Thiere (*Ann. de Chim.* 49. 457. Ueber die unterirdischen Gasarten rc. von A. v. Humboldt. Braunschweig 1799.)

154. Die wesentlichen Bestandtheile der atm. Luft sowohl als die bloß zufälligen, mehr veränderlichen, bilden nicht eine chemische Verbindung, sondern nur ein mechanisches Gemenge. Hiemit stimmen sowohl das spec. Gewicht, das Lichtbrechungsvermögen, die Wärmecapacität der Luft, als alle anderen Eigenschaften überein. Demnach bildet jeder einzelne Bestandtheil eine eigene Atmosphäre um die Erde, welche unabhängig von jener der übrigen Bestandtheile besteht. Gäbe es in der Atmosphäre vollkommene Ruhe, so müßte die Luft in verschiedenen Höhen auch eine verschiedene Zusammensetzung haben, allein die beständigen Bewegungen, besonders die fast immer vorhandenen, aufwärts gerichteten Strömungen lassen eine solche Verschiedenheit nicht aufkommen, wornach also auch Versuche über die Zusammensetzung der Luft in großen Höhen weder für noch gegen die mechanische Verbindung der Luftbestandtheile etwas beweisen.

Zweites Kapitel.

Wärmeverhältnisse auf der Erde und in der Atmosphäre.

155. Die meisten und wichtigsten Veränderungen in der Atmosphäre haben in den Wärmeverhältnissen ihre letzte Wurzel und können nicht in ihrem Zusammenhange erkannt werden, ohne mit diesen Verhältnissen vertraut zu seyn. Eben diese haben aber auch auf den Haushalt im Reiche der Organismen einen sehr bedeutenden Einfluß, und somit erscheint die Vertheilung der Wärme in und auf der Erde und in der Atmosphäre als eines der wichtigsten Objecte der wissenschaftlichen Betrachtung des Physikers. Die Hauptquelle der Wärme auf der Erde und in der Atmosphäre ist die Sonne, indem sie der Erde zugleich mit den Lichtstrahlen Wärmestrahlen zusendet. Diese müssen

aber, bevor sie zur Erde gelangen, erst die Atmosphäre durchfahren, wo sie wegen der unvollkommenen Diathermanität der Luft eine Schwächung durch Absorption erleiden, und darum mit geringerer Intensität zur Erde gelangen. Daselbst wirken sie aber wieder nur in dem Maße erwärmend, als sie von der Erde absorbirt werden, und daher kommt es, daß die Erwärmung der Erde und der Luft durch die Sonne vom Stande der letzteren, d. h. von der größeren oder geringeren Dicke der zu durchfahrenden Luftschichte, von dem mehr oder weniger schiefen Einfall der Strahlen auf die irdischen Gegenstände und von der absorbirenden Kraft dieser abhängt. Den größten Einfluß auf die Größe der Erwärmung hat der Stand der Sonne über dem Horizont, weil mit der größeren Sonnenhöhe nicht bloß die Länge des Weges der Wärmestrahlen in der Luft, sondern auch die Schiefe dieser Strahlen gegen die Erde geringer wird. Da nun die Sonnenhöhe täglich in der Richtung von O nach W von 0° — 90° wächst und wieder bis 0° abnimmt, die Mittagshöhe aber in der Richtung von S nach N und zugleich auch die Dauer der ununterbrochenen Einwirkung der Sonne, d. h. die Tageslänge, im Laufe eines Jahres innerhalb einer bestimmten Grenze abnimmt; so muß auch die Wärme auf der Erde eine tägliche und eine jährliche Periode befolgen. Dieses bestätiget die Erfahrung vollkommen, wie Jedermann weiß.

156. Die jährliche Periode hat einen verschiedenen Charakter, je nach der Größe des Spielraums, innerhalb welchem die Mittagshöhen der Sonne variiren, weil von dieser die Verschiedenheit der Tagslänge und die Macht der Einwirkung der Wärmestrahlen der Sonne abhängt. Man kann nun für die ganze Erde bezüglich der Grenzen, innerhalb welcher die Mittagshöhe der Sonne wechselt, drei von einander wesentlich verschiedene Fälle unterscheiden. Oerter, welche innerhalb der Wendekreise liegen, haben wenigstens einmal im Jahre eine Mittagssonnenhöhe von 90°, d. h. die Sonne im Zenith. Solche, die zwischen einem Pol und dem entsprechenden Polarkreis liegen, haben wenigstens einmal im Jahre die Mittagshöhe = 0, d. h. die Sonne geht ihnen gar nicht auf. Solche endlich, welche zwischen einem Wendekreis und dem Polarkreis derselben Hemisphäre liegen, haben immer die Mittagshöhe größer als 0° und kleiner als 90°. Diese drei Fälle bestimmen die sogenannten klimatischen Zonen oder Erdgürtel. Da die zwischen dem Pole und dem entsprechenden Polarkreise, so wie die zwischen dem Polarkreise und dem nächsten Wendekreise liegende Zone in jeder Hemisphäre vorkommt, so gibt es fünf solche Zonen, von denen die zwischen den Wendekreisen befindliche, die heiße; jede zwischen einem Wendekreise und dem Polarkreise derselben Halbkugel liegende, gemäßigte, endlich die von einem Polarkreise bis zum entsprechenden Pol sich erstreckende, kalte Zone heißt. Jede dieser Zonen hat eigenthümliche Wärmeverhältnisse, deren Charakteristisches darin bestehen muß, daß in der heißen Zone wegen der stets großen Sonnenhöhe und der geringen Variation der Tageslänge eine hohe, wenig veränderliche Temperatur herschend ist, in der kalten hingegen wegen

der großen Differenz zwischen dem längsten und kürzesten Tage, ungeachtet der nie bedeutenden Mittagshöhe der Sonne, die Extreme der Temperatur sehr weit aus einander liegen, in der gemäßigten Zone endlich eine Art Mittelzustand herrscht. Näher bestimmt diesen Charakter die Erfahrung.

Unter dem Aequator sind Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch einander gleich, und selbst unter den Wendekreisen hat der längste Tag nur etwas über 13 St., und die kleinste Mittags-Sonnenhöhe ist daselbst 47°. An der Grenze der kalten Zone dauert der längste Tag schon 24 St., und die größte Sonnenhöhe beträgt nur 43°, am Pol hat der längste Tag eine Dauer von 6 Monaten, und die größte Sonnenhöhe ist nur 23½°. In der gemäßigten Zone wechselt der längste Tag von einer Grenze zur anderen, von etwas über 13 St. bis 24 St., die kleinste Sonnenhöhe von 0° — 47°, die größte von 43° — 90°.

157. In der heißen Zone zerfällt das Jahr in zwei Jahreszeiten, nämlich in die trockene, heiße Jahreszeit, und in die Regenzeit. Wenn die Mittagssonne dem Zenith nahe rückt und mit ihrem glühenden Strahle die Pflanzenwelt zu vertilgen droht, überzieht sich der Himmel mit trübem Gewölke, es beginnt der tropische Regen, der mit Ausnahme einiger Tage und Stunden mehrere Monate anhält. Diese Erscheinung fällt zu beiden Seiten des Aequators in entgegengesetzte Zeiten des Jahres. Sie fängt an der Nordseite des Aequators desto früher an, je geringer die Breite des Ortes ist, und rückt daher von Süden nach Norden fort; auch dauert sie desto länger, je früher sie vor dem höchsten Sonnenstande eintritt.

Die Regenzeit beginnt an der Küste von Guinea im April oder Mai, tiefer im Lande im Mai oder Juni, und endlich im Flußgebiete des Gambia und Senegal im Juni oder Juli. Nach Rußegger's handschriftlichen Mittheilungen theilen sich im Inneren Afrika's die Trocken- und Regenzeit gleichmäßig in das ganze Jahr, und jede derselben umfaßt nahe 6 Monate. Die Regenzeit, südlich vom Aequator, ist eine Fortsetzung des südlichen Winters, und umfaßt die Monate October bis April; am Aequator beginnt sie mit Ende December oder Anfangs Jänner. Im Januar traf sie Rußegger schon in 10° 16′ n. Breite, mit Eintritt Februar im 11° und erst im Mai im 15° Br., und dauert daselbst bis October. Sie erstreckt sich nur bis 16° Br. Ueber diesen Breitegrad hinaus (bis zum 18°) reichen nur Regenstürme, die aber nicht mehr so regelmäßig, ja nicht einmal alljährlich eintreten. Ueber den 18° Breitegrad hinaus hören die periodischen Regen ganz auf, und es sind Regen überhaupt in den Wüsten von Nubien und Oberägypten nur als Seltenheit zu betrachten, und diese fallen in die Periode unseres Winters.

158. Die Länder der gemäßigten Zonen haben vier Jahreszeiten, die bekanntlich durch die Namen Frühling, Sommer, Herbst und Winter bezeichnet werden. In diesen Gegenden steigt im Sommer die Wärme nicht selten so hoch als im heißen Erdgürtel, aber dafür sinkt sie im Winter tief unter die geringste Temperatur der heißen Zone. Der Unterschied zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur wächst in der Regel mit der Breite eines Ortes. Länder,

welche der heißen Zone nahe liegen, kennen keinen rauhen Winter, der die Fluren tödtet, sondern nur Tage, wie wir sie im Frühlinge oder Herbste erleben, das Entblättern und Belauben der Bäume trennt nur eine sehr kurze Frist. Je weiter man sich von der Grenze der heißen Zone in die gemäßigte hinein entfernt, desto gleichmäßiger theilen sich die vier Jahreszeiten in das ganze Jahr, bis bei weiterer Annäherung an die Grenze des kalten Erdgürtels der Winter die Oberhand gewinnt und einen Theil des Frühlings und Herbstes verschlingt. Es erreicht zwar der Sommer wegen der langen Dauer der Tage eine außerordentliche Hitze, so daß Pflanzen, die bei uns kaum in drei Monaten vom Keimen bis zur Reife gebracht werden können, hier dazu nur etwa 6 Wochen brauchen; dafür ist diese Zeit nur kurz und der schnell einbrechende Winter so heftig, daß die meisten Flüssigkeiten gefrieren, der Athem zu Reif erstarrt, alle Vegetation erstirbt, und nur wenige Thiere, so wie der überall ausdauernde Mensch, Thätigkeit und Leben beurkunden.

159. In der kalten Zone zerfällt das ganze Jahr in einen flüchtigen Sommer und in einen langen Winter. Die an der Grenze des gemäßigten Erdgürtels befindlichen Länder nehmen zwar noch etwas an den günstigeren Verhältnissen des letzteren Theil, aber weiter davon kann die Sonne selbst bei der langen Dauer der Tage wegen ihrer geringen Höhe, wegen der häufigen Nebel und der Dicke und Dichte der Luftschichten, welche die schief einfallenden Strahlen durchwandern müssen, bevor sie den Boden treffen, keine namhafte Erwärmung mehr hervorrufen, um so mehr, als die meiste Wärme zum Schmelzen des Eises verwendet wird. Ueber o° nördl. Br. hinaus steigt das Thermometer selbst im Sommer selten über den Eispunct und über 79—80° nördl. Br. schmilzt der Schnee gar nicht mehr weg.

160. Wären Sonnenhöhe, Neigung der einfallenden Strahlen gegen den zu erwärmenden Körper, und Dauer ihrer Einwirkung die einzigen, auf die Erwärmung Einfluß nehmenden Elemente, so könnte man die Wärmeverhältnisse jedes Orts durch Rechnung bestimmen. Allein die Wärmestrahlen erwärmen nur in so ferne, als sie absorbirt werden, und die Erwärmung hängt daher von der absorbirenden Kraft des Bodens ab; jeder Ort erfährt von seiner Umgebung nach Maßgabe der Temperaturverhältnisse einen erwärmenden oder erkaltenden Einfluß; selbst während der Einwirkung der Wärmequelle findet eine Wärmeabgabe durch Mittheilung und Ausstrahlung Statt, noch mehr aber wenn jene Quelle versiegt ist, und somit macht sich auch die Wärmeleitungsfähigkeit der Körper geltend. Unter solchen Umständen ist an eine mathematische Bestimmung der Wärmeverhältnisse auf bloß theoretischem Wege nicht zu denken, und man kann nur im Allgemeinen nach solchen Anhaltspuncten den Einfluß der einzelnen Umstände auf die Temperatur eines Ortes angeben. Es ist klar, daß sich trockener, nackter, besonders sandiger Boden wegen seiner starken absorbirenden Kraft und weil er keine Wärme zur Dunstbildung abzugeben braucht, stark erhitzen, aber wegen seiner Leitungsfähigkeit auch

schnell und stark erkalten müsse; daß cultivirter mit Pflanzen bedeckter Boden, der wenig Wärmestrahlen absorbirt und viel Wärme zur Verdunstung der Feuchtigkeit braucht, viel weniger erwärmt werde; daß Wasser, welches wenig Wärme absorbirt und beständig verdunstet, nicht stark erhitzt werden könne, aber auch nur langsam und verhältnißmäßig wenig abgekühlt werde, weil es wenig Wärme ausstrahlt und sich ihre Erkältung nicht bloß auf die Oberfläche, sondern tief in ihre Masse hinein erstreckt. Eine partielle Erwärmung oder Erkältung wirkt auf eine bedeutende Entfernung rings herum, nicht bloß weil von wärmeren Orten gegen die kälteren hin Wärme zufließt, sondern weil die Luftströme ganze warme oder kalte Luftmassen von einem Orte zum anderen führen. Alle diese theoretischen Folgerungen finden in der Erfahrung ihre volle Bestätigung.

161. Große Continente, wie z. B. das asiatische und afrikanische Festland, haben wärmere Sommer, kältere Winter und überhaupt größeren Temperaturwechsel als Inseln und Küstenländer. Man kann ihr Klima ein excessives nennen. Es ist aber selbst die Richtung der größeren Ausdehnung eines Landes von Einfluß auf dessen Wärmeverhältnisse. Länder der gemäßigten Zone erlangen günstigere Verhältnisse dieser Art, wenn sie sich in den heißen Erdgürtel hinein erstrecken, hingegen ungünstige, wenn sie bis zu den Polargegenden hinauf reichen. Die sich weit in das Eismeer hinein erstreckenden Welttheile Asien und Amerika sind darum kälter als Europa, und der afrikanische Continent ist heißer als Asien in gleicher Breite. Wüsten, deren Boden trocken, steinig und pflanzenleer ist, wie z. B. die Sahara, die lybische Wüste, haben eine unerträgliche Tageshitze und dabei doch kalte Nächte; das vegetationsreiche Ostflorida und das südliche waldige Negerland Afrika's sind ungeachtet der Nähe des Aequators sehr anmuthig. Küstenländer, Inseln, das Meer selbst haben gemäßigte Sommer und Winter und überhaupt geringe Temperaturwechsel. Das von Binnenmeeren und Meerbusen vielfach durchschnittene Europa hat mehr den Charakter eines See- als eines Continentalklimas; Italien, Griechenland, so wie das küstenreiche Indien verdanken denselben Umständen die Gunst ihres Klimas. Die südliche Halbkugel hat schon darum eine minder hohe Temperatur, weil sie weniger Land enthält als die nördliche. Europa ist durch das Uralgebirge vor den kalten Nord-Ostwinden geschützt, und doch den hoch gehenden, warmen afrikanischen Winden offen, mithin auch aus diesem Grunde wärmer als Asien oder Amerika in gleicher Breite.

Nur $1/6$ des ganzen Umfanges des Erdäquators fällt auf festes Land, und von diesen kommen auf Afrika 0,461, auf Amerika 0,301, auf Asien 0,114 und auf Australien 0,124; es fällt daher der größere Theil des tropischen Continents in die Länder der alten Welt, und gerade Europa befindet sich in jenem Theile desselben, der sich in der heißen Zone am meisten ausbreitet. Sehr auffallende Verschiedenheiten zeigen einzelne geographisch gleich, aber physisch ungleich gelegene Oerter. So liegen z. B. Amsterdam und Warschau, ferner Kopenhagen und Kasan nahe in demselben Parallelkreise, und haben doch so verschiedene Tem-

peraturen. Peking hat einen Sommer wie Neapel und einen Winter wie Kopenhagen; Kasan hat während eines Theiles des Frühlings und Sommers dieselbe Temperatur wie Paris, wiewohl es um 7° nördlicher liegt. Während die mittlere Wärme des Festlandes in der Aequatorialzone 27°,7 beträgt, ist jene des Meeres ebendaselbst 25°,5. Das Meer erreicht dort selten 28°, und nie sah man die Meerestemperatur über 31°, die Luft über dem Meere hat nur selten 29° und vielleicht nie 32°. Der Boden der heißen Zone nimmt während des Tages sogar 52°,5 an, und den weißen Granitsand an den Wasserfällen des Orinoco fand Humboldt 60°,3 heiß, während die Luft 29°,6 hatte. Monate lang ist die mittlere Lufttemperatur in den Tropenländern 26°,5 — 35°, über dem tropischen Meere 23 — 27°; in Madras, Pondicheri, Oberägypten steigt die Wärme der Luft auf 40 — 46°,8 C.

162. Die Luft wird unmittelbar durch die Sonne nur wenig erwärmt, sondern die unterste Schichte erhält ihre Wärme fast ausschließend von der Erde und theilt sie den oberen Schichten mit, indem sie in die Höhe steigt. Allein die obere Luft wird von der unteren nur in so ferne erwärmt, als sie kälter ist als diese, und selbst dieser Wärmeüberschuß der unteren Luft wird nicht ganz zur Erwärmung der oberen verwendet, weil ein Theil davon von der durch Verdünnung vergrößerten Capacität in Anspruch genommen wird, und somit muß die Temperatur der Luft von unten nach oben abnehmen. Man kennt das Gesetz dieser Abnahme noch nicht hinlänglich (151). Eben so wie höher befindliche Luftschichten haben auch höher gelegene Stellen der Erdoberfläche eine geringere Temperatur, als tiefer gelegene, weil sich ihre Temperatur mit der sie umgebenden Luft ins Gleichgewicht setzen muß, und dieses um so eher vor sich geht, je geringer die über die Meeresfläche hervorragende, von der Luft umgebene Masse ist. Es ist nicht wahrscheinlich, daß das Gesetz der Wärmeabnahme in der freien Luft auch für höher gelegene Stellen der Erdoberfläche gelte, so viel ist aber gewiß, daß die Temperaturabnahme nach aufwärts in einzeln stehenden Bergen rascher vor sich geht, als in Hochebenen oder zusammenhängenden Gebirgsketten. Eine natürliche Folge dieser Wahrheiten ist, daß man beim Besteigen eines im heißen Klima befindlichen hohen Berges successiv alle Klimate von der Gluth der Tropen, bis zum Eise der Polarländer über einander gelagert antreffen muß, und daß man überall, selbst unter dem Aequator, zuletzt in eine Höhe kommt, wo der Schnee nicht mehr wegschmilzt. Man nennt sie die mittlere Schneegrenze. Die ist natürlich desto größer, je geringer die Breite des Ortes ist; unter den Polen ist sie = 0, am Aequator hingegen = 2460 Toisen, bei uns beiläufig 1300 F. Man darf aber nicht glauben, daß die Schneegrenze zugleich jene Höhe bezeichnet, wo die mittlere Temperatur = 0 ist, diese richtet sich mehr nach der Sonnenhitze als nach der mittleren Wärme, und wird überdieß durch eine Menge Nebenumstände, z. B. durch die Ausdehnung der hohen Stelle, durch die Temperatur der Umgebung, die Luftfeuchtigkeit, Schneemenge u. s. w. bestimmt.

Damit die Lufttemperatur um 1° C. sinke, muß man an nachstehenden Orten um so viele P. Fuß steigen, als die denselben beigesetzten Zah-

len anzeigen: Coffre de Perotte 569,6, Silla de Carracas 591,2, Fuerta de la Cuchilla 569,4, Guadaloupe 598,7, Pic v. Teneriffa 571,7, Nevado de Toluca 613,4, Pichincha 612,3, Chimborasso 629,0, Quito 750, Mexico 774, Popayan 780, Bogota 786, Paris 533,5, Aetna 547, Alpen 538, England 408, Süd-Deutschland und Norditalien 531,6, Sachsen 536,4, Böhmen 529,2, westliches Sibirien 762, südliches Vorder-Indien 546. Hieraus sieht man, daß die Wärme auf Plateau's langsamer abnimmt, als in tieferen Gegenden. Nach d'Aubnisson ist die Erhöhung für eine Wärmeabnahme von 1°, zu Genf und auf dem Bernhardsberge für die einzelnen Monate in Metern, wie folgt: Jänner 221, Febr. 214, März 219, April 211, Mai 222, Juni 210, Juli 142, August 149, Sept. 164, Oct. 241, Nov. 201, Dec. 246; im Mittel 203 M. = 624 P. F. Saussure fand auf dem Col de Géant folgende Werthe in Metern zu verschiedenen Stunden: Mittags 148, 2 Uhr 140, 4 U. 142, 6 U. 141, 8 U. 143, 10 U. 157, 12 U. 171, 14 U. 189, 16 U. 210, 18 U. 195, 20 U. 180, 22 U. 160, im Mittel 161,3 M. = 496 P. F. Bei Gay-Lussac's berühmter Luftfahrt stand das Thermometer an der Erdoberfläche auf 30°,75, in 5002 M. Höhe auf 5°,25, in 5675 M. Höhe auf 0°,5, in 5631 M. Höhe auf 0° und in der größten Höhe, die erreicht wurde, nämlich in 6977 M. auf — 9°,5. Die Höhe der mittleren Schneegrenze ist in den Cordilleras von Quito (1 — 1°½ südl. Br.) = 2460 Toisen; von Mexico (19 — 19°¼ nördl. Br.) = 2350 T.; im nördlichen Abhange des Himalayagebirges (30¾ — 31° nördl. Br.) = 2600, im südlichen Abhange = 1959 T.; am Kaukasus (42½ — 43° nördl. Br.) = 1400 T.; in den Pyrenäen (42½ — 43°) = 1400 T.; in den Alpen (45¾ — 46) = 1370; in den Karpathen (49 — 49¼) = 1330 T.; im Altai (49 — 51) = 1000 T.; im Innern von Norwegen (61 — 62°) = 850 T.; an den Küsten (71¼ — 71½°) = 366 T.

163. Um ein treues Bild der Vertheilung der Wärme auf der Erde zu erhalten, muß man nebst dem bereits Gesagten, auch noch den Gang der Wärme im Laufe eines Tages und Jahres, nebst der Durchschnittstemperatur der kältesten und wärmsten Jahreszeit, so wie des ganzen Jahres kennen zu lernen suchen. Um den Gang der Wärme in einem Tage zu erforschen, sollte man eigentlich in jedem Zeitabschnitt des Tages, ein vor Wind, Regen und strahlende Wärme geschütztes Thermometer beobachten; weil sich aber die Wärme nicht so schnell ändert, so reicht es hin, von Stunde zu Stunde eine solche Beobachtung anzustellen. Setzt man diese Beobachtungen wenigstens ein Jahr hindurch fort, und sucht den jeder Beobachtungsstunde entsprechenden mittleren Werth der Temperatur für die einzelnen Monate, so erhält man an den so erzielten Mittelwerthen ein Bild des mittleren Ganges der täglichen Temperatur in jedem Monat, und aus den Durchschnitten der Monatmittel den mittleren stündlichen Gang der Wärme fürs ganze Jahr. Bei der ungeheuren Masse von Thermometerbeobachtungen, die bereits angestellt worden und noch fortwährend angestellt werden, hat man doch noch nicht gar viele zu solchen Zwecken brauchbare; indeß scheinen diese schon hinzureichen, gewisse allgemeine Gesetze als unzweifelhaft darzustellen. Es geht aus denselben klar hervor, daß die Temperatur täglich ein Maximum und ein Minimum erreiche. Die Stunden, wo das Steigen in ein Fallen übergeht und

umgekehrt, d. h. die Wendestunden, ändern sich so zu sagen täglich. Das Minimum findet in der Regel etwa 20 M. vor Sonnenaufgang, das Maximum im Winter zwischen 12 — 1 U., im Sommer zwischen 2 — 3 U. Nachmittag Statt. Es rücken also die Wendestunden im Winter dem Mittag näher, eben so wie dieses mit den magnetischen Wendestunden der Fall ist. Auch die mittlere tägliche Aenderung ist in verschiedenen Monaten verschieden, und zwar im December am kleinsten, im April am größten, sie wächst daher vom December den Winter hindurch bis zum April, und nimmt dann den Sommer und Herbst hindurch bis zum December ab. Vergleicht man die stündlichen Jahresmittel mit den Monatmitteln, so findet man, daß die Temperatur in den Sommermonaten Morgens und spät Abends unter, Mittags und in den ersten Abendstunden über dem mittleren Werthe stehe, und daß in den Wintermonaten ein umgekehrtes Verhältniß Statt finde. Da täglich die Temperatur einige Stunden unter, andere Stunden über dem Mittel steht, so muß es auch solche Stunden geben, wo die Temperatur dem Tagesmittel nahe kommt. Dieses ist der Fall zwischen 9 — 10 Uhr Vormittags, und noch mehr um 8 Uhr Abends.

Man braucht demnach, um die mittlere Temperatur eines Tages zu finden, nicht von Stunde zu Stunde zu beobachten, sondern erreicht seinen Zweck, wenn man an den Stunden, wo nahe das Tagesmittel einzutreten pflegt, eine Beobachtung anstellt. Noch näher kommt man an das Ziel, wenn man mehrere angestellte Beobachtungen gehörig zu benützen weiß. So z. B. gibt das Mittel aus dem Max. u. Min. der Temperatur mittelst eines empirisch bestimmten Correctionsfactors (Kämtz Vorlesungen über Meteorologie. Halle 1840. S. 29) die mittlere Temperatur völlig genau. Nach den zu Leith, Apenrade und Padua angestellten, stündlichen Beobachtungen erhält man die mittlere Tagestemperatur aus zwei Beobachtungen, einer vor- und einer nachmittägigen, die um $11^1/_4$ Stunden von einander abstehen. Nach Brewster gibt die halbe Summe zweier in gleichnamigen Stunden (z. B. 10 Uhr Morgens und 10 Uhr Abends) erhaltenen Resultate die mittlere Tagestemperatur. Beobachtet man täglich um 7 Uhr früh und um 2 und 9 Uhr Abends, wie dieses nach den Bestimmungen der Mannheimer meteorologischen Societät zu geschehen hätte, so erhält man nach Kämtz das tägliche Mittel t durch die Formel $t = \frac{VII + II + 2\,IX}{4}$, wo VII, II, IX die um 7, 2, 9 Uhr beobachteten Temperaturen bezeichnen. Nach Humboldt gelangt man auch zum Zwecke, wenn man zu beliebigen Stunden beobachtet, die gefundene Temperatur mit der Zeit multiplicirt, welche zwischen ihr und der folgenden liegt, und die Summe der Producte durch 24 theilt. Am Wiener Observatorium wird um 8 Uhr Morgens, um 3 und 10 Uhr Abends beobachtet. Sind VIII, III, X die beobachteten Temperaturen, so ist die mittlere Wärme t durch folgende Gleichung gegeben: $t = \frac{7\,VIII + 7\,III + 10\,X}{24}$. Dieser Regel gemäß sollte auch das Mittel aus 2 um 12 Stunden von einander entfernten Beobachtungen die mittlere Tageswärme geben. Nach Kämtz eignen sich dazu besonders gut 4 Uhr Morgens und Abends, und 10 Uhr Morgens und Abends. Bei mehreren mit dieser Regel vorgenommenen Proben zeigte sie sich

fast immer bis auf 0° 1 C. genau. (Kämtz in Schweigg. J. 48. 1. *Humboldt sur les lign. isoth. p.* 491 u. f.)

164. Die Durchschnitte der in jedem Monat angestellten Beobachtungen geben den mittleren Gang der Wärme von Monat zu Monat im Laufe des Jahres an. Zwischen den Wendekreisen zeigt dieser Gang zwei Maxima und zwei Minima, und zwar steigt die Temperatur nördlich vom Aequator vom Jänner bis zum April oder Mai, sinkt von da bis zum Juni oder Juli, und steigt dann wieder bis zum September, und nimmt wieder ab bis zum Jänner. Unter dem Aequator erfolgt das Steigen und Fallen der Temperatur nach demselben Gesetze, mit wachsender Breite weicht das Gesetz der Temperaturzunahme von jenem der Abnahme immer mehr ab, und die Eintritte der zwei Maxima, welche unter dem Aequator ein halbes Jahr von einander abstehen, rücken einander immer näher, bis sie bei 15° — 20° Breite in ein Maximum zusammenfallen. In mittleren und höheren nördlichen Breiten gibt es nur ein jährliches Maximum und ein Minimum, und zwar fällt ersteres in den Monat Juli, letzteres in den Monat Jänner. In der nördlichen gemäßigten Zone erleidet der Gang der Wärme mehrere sehr hervorstechende Unterbrechungen. Dieses hat vorzüglich Brandes schön nachgewiesen. Die größte Kälte fällt nämlich fast überall in die ersten Tage des Jänners, und vermindert sich von da fortwährend ohne allgemeine Unterbrechung bis gegen Ende desselben Monats, wo eine neue Wärmeabnahme eintritt, die mit geringen Abwechslungen einen halben Monat anhält. Nach Verlauf dieser Zeit, also in der zweiten Hälfte des Februars, beginnt wieder eine mildere Witterung, wird aber durch eine neue Kälte (Nachwinter) auffallend unterbrochen, die in den östlichen und nördlichen Gegenden früher merklich wird, auch mehr erheblich ist, als in den westlichen und südlichen. Brandes zeigt, daß sie durch einen Luftstrom erzeugt werde, der aus dem asiatischen Eismeere oder dem nordöstlichen Rußland kommt, und durch die erwärmende Wirkung der zu dieser Zeit in diesen Gegenden gerade aufgehenden Sonne hervorgebracht werden soll. Nachdem diese vorüber ist, fängt die Temperatur allmälig zu steigen an, und wächst mit wenigen Unterbrechungen mit größeren oder geringeren Schritten bis zur Zeit der größten Sommerhitze. Diese tritt in den nördlichen Gegenden früher als in den südlichen ein, weil auch dort die Tage schneller wachsen als hier. Von dem Zeitpuncte der größten Wärme nimmt die Temperatur ab, und zwar in den südlichen Gegenden langsamer als in den nördlichen, erreicht aber im zweiten Drittel des August wieder einen ziemlich hohen Grad. Von da beginnt nun besonders in den nördlicheren Gegenden eine schnelle Abnahme der Wärme bis zum Anfange Oktober, wo mit dem bekannten Nachsommer eine abermalige Erhöhung der Temperatur eintritt. Nach Verlauf des Nachsommers nimmt die Kälte mit wenigen Unterbrechungen bis zum größten Grade zu. (Untersuchungen über den mittleren Gang der Wärmeänderungen durchs ganze Jahr von Brandes. Leipzig 1820. S. 1 — 26.)

Für Wien haben 60jährige Beobachtungen die mittlere Temperatur jedes der zwölf Monate eines Jahres so kennen gelehrt, wie folgt:

Jänner	— 1°,207	Juli	17,221
Februar	0,676	August	16,873
März	3,910	September	13,294
April	8,824	October	8,539
Mai	13,400	November	3,713
Juni	15,768	December	0,461

Jährlicher Durchschnitt 8°,459. R.

Unter dem Aequator fallen nach Erman die zwei wärmsten Tage mit einer Temperatur von 24°,5 R. auf den 19 — 20 April und den 22 — 23. October, die zwei kältesten mit einer Temperatur von 20°,6 R. auf den 19 — 20 Jänner und den 22 — 23. Juli. Die größte Veränderung der Tagestemperatur beträgt 3°,9 R. In Cumana (10° 27' nördl. Br.) ist die Temperatur des heißesten Monats im Durchschnitte 29,1 C., die des kältesten = 26,2, mithin die Differenz beider = 2°,9. In Deutschland hat man (am 31. December 1783 und am 31. Jänner 1784) — 31°,2 C. beobachtet, und in Wien stieg (an der Sternwarte) am 8. Juli 1819 das Thermometer auf 36°,9 C. Nach Giesecke (Scholz Physik. 4. Aufl. S. 542) war die niedrigste innerhalb 7 Jahren auf Grönland beobachtete Temperatur — 42°,5 C., die höchste aber + 31°,25. In Petersburg hatte man (1772) eine Winterkälte von — 38°,8 C. und (1788) eine Sommerhitze von 33°,4. Selbst in Abo beobachtete Leche eine Temperatur von 34°,2. In Paris beobachtete man (6. Febr. 1665) — 21°,2 und (am 28. Juli 1793) eine Hitze von 38°,4 C. Capitän Parry fand im Jahre 1819 in der Davisstraße und Baffinsbai im Juli die höchste Temperatur = 7°,7 C., die geringste — 3°,3, auf der Insel Melville (Breite $74\frac{3}{4}$°) im August die größte Wärme 17°,2, die kleinste — 5°,5. In Spitzbergen (Breite 79°) soll in den Wintermonaten die Temperatur fast immer zwischen — 35° und — 37° C. schwanken und im Sommer nur selten über 4°,5 C. steigen. Im Winter bilden sich in diesen Gegenden die ungeheuren Eisfelder, welche die Polarmeere bedecken und oft einige hundert Meilen im Umfange haben, wohl auch die sogenannten Eisberge, die oft mit ungeheurem Getöse stückweise ins Meer stürzen, fortschwimmen, und besonders, wenn sie die Sonne brüchig gemacht hat, den Schiffen große Gefahr bringen. (Gilb. Ann. 62. 1.) Nach Bouvard tritt zu Paris die größte Sommerhitze am 15. Juli, die größte Winterkälte am 14. Jänner, mithin 6 Monate nach jener ein, beide erfolgen 25 Tage nach dem Solstitium. Die vom wärmsten Monat Juli gleich weit abstehenden Monate März und November haben auch eine gleiche Temperatur (6°,48 und 6°,78), und der 5. März hat genau dieselbe Temperatur wie der 24. November. Nach Kämtz fällt die höchste und geringste Temperatur des Jahres in nachstehenden Orten auf die ihnen beigesetzten Tage:

Enontekis:	20. Jän.,	26. Juli.	Padua:	15. Jan.,	26. Juli.
Christiania:	17. »	20. »	Rom:	17. »	1. Aug.
Upsala:	16. »	21. »	Capstadt:	2. Febr.,	6. Juli.
Fort Sullivan:	24. »	29. »	Fort Johnston:	18. Jän.,	21. »
Manchester:	12. »	27. »	Abushehr:	12. »	18. »
Turin:	3. »	27. »			

Im Mittel fällt demnach der kälteste Tag auf den 14. Jänner, der wärmste auf den 26. Juli.

165. Da die mittlere Temperatur einiger Monate unter dem Jahresmittel liegt, die anderen Monate aber das Jahresmittel überschreitet, so muß es auch im Laufe eines Jahres Monate geben, deren Temperatur dem Jahresmittel sehr nahe kommt. Nach Erman ereignet sich unter dem Aequator die mittlere Jahrestemperatur jährlich viermal, und zwar am 5. März, am 5. Juni, am 7. Oct. und am 6—7. Dec. Nach v. Humboldt stimmt das Monatmittel vom April und October mit dem Jahresmittel sehr nahe überein, noch näher kommt demselben nach Kämtz der Durchschnitt der Monate April und October. Uebrigens ist das jährliche Mittel für jeden Ort nahe eine constante, höchstens um 1—2° C. veränderliche Größe.

Kämtz (Schweigg. J. 55. 375) hat für mehrere Orte aus einer großen Anzahl daselbst angestellter Temperaturbeobachtungen die Tage ausgemittelt, deren mittlere Temperatur zugleich die mittlere Jahrestemperatur ausdrückt und folgende Resultate gefunden:

Enontekis:	28. April,	22. Oct.	Padua:	20. April,	15. Oct.
Christiana:	3. Mai,	14. »	Rom:	1. Mai,	24. »
Upsala:	22. April,	18. »	Capstadt:	19. April,	21. »
Fort Sullivan:	26. »	26. »	Fort Johnston:	21. »	18. »
Manchester:	27. »	23. »	Abushehr:	23. »	22. »
Turin:	18. »	26. »			

Man kann den 24. April und 21. October als jene Tage ansehen, deren Temperatur der mittleren Jahreswärme gleich kommt.

166. Die Vertheilung der Wärme auf der Erde wird am besten ersichtlich, wenn man die Orte von gleicher mittlerer Temperatur durch Linien verbindet, welche man isothermische Linien nennt. Fig. 392 stellt diese Linien für die nördliche Halbkugel dar. Man entnimmt daraus folgende Gesetze: Die der höchsten Temperatur entsprechende Isotherme ist die des Aequators. Sie entspricht an den Küsten der größeren Continente 27°,74 C.; im Inneren großer Länder ist die Wärme etwas größer, mitten im Ocean etwas kleiner. Die Isotherme von 25° verläßt die Westküste Amerika's nördlich von Acapulco, geht durch Cuba, tritt, nachdem sie etwas nach Süden hinabgestiegen ist, nördlich von den Inseln des grünen Vorgebirges in Afrika ein, hebt sich an der Westküste Afrika's nach Norden, und schneidet die asiatische Ostküste westlich von der Insel Lusson. Die Isotherme von 20° geht durch Californien, schneidet die Westküste Europas zwischen Madeira und den canarischen Inseln, läuft zwischen Creta und der Küste Aegyptens fort, und verläßt Asien in der chinesischen Provinz Tsche-kiang. Die Isotherme von 15° geht durch Neu-Calefornien gegen die Azoren, und erreicht Europa an der Grenze von Spanien und Portugal, zieht sich dann durch den römischen Staat, geht durch das caspische Meer, senkt sich hierauf nach Süden und erreicht Asiens Ostküste in der Insel Niphon. Die Isotherme von 10° geht von der Westküste Amerika's in New-Albion nach Neu-York, hebt sich da nördlich und erreicht ihre größte Breite bei London, lauft von da bei Frankfurt und Wien vorbei gegen Astrachan, und erreicht in der Wüste Schamo ihren süd-

lichsten Scheitel. Die Isotherme von 5° verläßt Amerika bei Halifax, erreicht Drontheim in Norwegen, und senkt sich dann gegen Riga und Moskau, hat bei Kiachta ihren südlichsten Scheitel und tritt im südlichen Theile von Kamtschatka in den großen Ocean ein. Die Isotherme von 0° senkt sich im amerikanischen Continente stark nach Süden, steigt aber beim Austritte aus demselben nördlich von Neu-Foundland gegen Island bis zum nördlichen Theile von Norwegen, worauf sie aber schnell abwärts geht und im asiatischen Continente die Ostküste am nördlichen Theile von Kamtschatka zu erreichen scheint. Die Gestalt dieser Linien zeigt deutlich das Daseyn zweier Puncte der Erdoberfläche (Kältepole) an, wo die Temperatur im Verhältnisse zur geogr. Breite am geringsten ist. Einer derselben liegt nördlich vom amerikanischen, der andere nördlich vom asiatischen Festlande. Da die Temperatur von unten nach oben eben so abnimmt, wie vom Aequator gegen die Pole, so wird selbst am Aequator jeder Höhe eine mittlere Temperatur entsprechen müssen, wie sie in einer bestimmten Breite vorkommt. Fig. 393 zeigt die Isothermen dieser Art.

167. Von der mittleren Temperatur, besonders von jener der einzelnen Jahreszeiten, hängt insbesondere bei sonst günstiger Beschaffenheit des Bodens, der Zustand der Vegetation ab, so daß man häufig von diesem Zustande auf die Temperatur einen Schluß zu machen im Stande ist. Paris und London haben fast dieselbe mittlere Temperatur (Paris 10°,6, London 10°,2), und doch kommen um Paris viele Gewächse sehr gut fort, die um London nicht gedeihen. Ein Land, welches das ganze Jahr hindurch 10° C. Wärme hätte, würde nur wenige Pflanzen zur Reife bringen, während bei derselben mittleren Temperatur und einer mittleren Sommerwärme von 21°, und einer mittleren Winterkälte von —3°, wie dieses in Wien der Fall ist, eine sehr üppige Vegetation herrschen kann.

Jede Pflanze fordert zum Gedeihen und Reifen ihrer Früchte eine bestimmte Sommerwärme und mittlere Temperatur, und kommt daher nur dort fort, wo diese herrscht. So z. B. fordert die Weintraube eine mittlere Temperatur von 8°,7, die Kastanie 9°,3, die Olive 13°,1, die Pomeranze 17°, die Kaffeebohne 18°,1, der Zucker 23°.7. Auf der Reise von Rio de Guayaquil nach dem Chimborasso trifft man an der Fläche der Südsee bis zu einer Höhe von 2700 Fuß Palmen und Pisangs; Affen, Jaguare und bunte Papageien haben hier ihren Aufenthalt. Von da bis zu einer Höhe von 9000 P. Fuß gedeihen die tropischen Eichen und Chinabäume, auch baumartige Farrenkräuter. Weiter aufwärts bis 12000 F. finden in kalten beständigen Nebeln noch die Escallonien und die Zimtwintern sparsame Nahrung, aber auch diese hören auf, wenn man sich weiter aufwärts begibt, und es treten nur kräuterartige Alpenpflanzen, mit feiner Wolle dicht bewachsen, an ihre Stelle, bis endlich bei einer Höhe von 14760 F. nur gelblich leuchtendes Gras, zuletzt gar nur kryptogamische Gewächse den traurigen, halb nackten Boden bedecken, den außer wilden Lama's und dem Berglöwen wenige belebte Wesen besuchen. Ueber diese Höhe hinaus, starrt die Natur vom ewigen Eise. (*Voyage de M. Alexander de Humboldt et Aimé Bonpland. 1. part. phys. générale. Paris et Tübingen* 1807.) Einen ähnlichen Wechsel der Vegetation bemerkte Buch (dessen Reise nach Nor-

wegen und Schweden. Berlin 1810) in den Alpen unter einer Breite von 45°,25 — 46°,5, und in Norwegen unter einer Breite von 70°. Er gibt folgende Grenzen an:

Für die Alpen.	In P. F. Höhe.	Für Norwegen.	J. P. F. Höhe.
Weinbaugrenze . . .	2432	Grenze der Fichten . .	730
Nußbaumgrenze . .	4564	» » Birken . .	1483
Kirschbaumgrenze . .	4164	» » Heidelbeeren	1980
Buchengrenze . .	4815	» » salix myrsinit.	2019
Alpenrose	6840	» » Zwergbirken	2576
Schneegrenze . . .	8540	Schneegrenze	3300

Wahlenberg theilt Lappland nach dem Wechsel der Vegetabilien und des Klima's in fünf Regionen ein: 1) In die Fichtenregion, welche bis 3200 P. F. unter die Schneegrenze reicht. Hier steht das Thermometer im Mittel auf + 2° C., unten wächst noch Gerste, oben nur mit Noth. 2) Kieferregion, welche sich etwa 3000 Fuß unter die Schneegrenze erstreckt. Hier beträgt die mittlere Temperatur 1,8 C., es reifet kein Korn mehr, und nur unten lohnen Kartoffeln und Rüben den Anbau. 3) Birkenregion bis 2000 Fuß unter der Schneegrenze. Die mittlere Wärme beträgt 1,4 C.; oben kommt auch die Birke nur verkrüppelt vor. 4) Niedere Alpenregion 1400 F. unter der Schneegrenze. Hier schmilzt der Schnee kaum vor Ende Juli, es wachsen nur Zwergbirken und salix myrsinites; die mittlere Wärme ist 1° C. 5) Die hohe Alpenregion, wo an vielen Stellen der Schnee gar nicht wegschmilzt, nur Alpenkräuter mehr wachsen, und die kein Lappe mit seinem Zelte überschreitet. (*Wahlenberg flora Lapponica. Berol.* 1812. Gilb. Ann. 41. 233.)

168. Alle bisher angeführten Umstände zusammengenommen, bestimmen nach dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse die klimatischen Verhältnisse und den Gang der Wärme an jeder Stelle. Was bis jetzt die Erfahrung über den Wärmezustand der Erdoberfläche gelehrt hat, besteht im Allgemeinen darin: Unser Klima hat sich seit den ältesten Zeiten nicht verschlimmert und die Winter sind nicht strenger geworden. Dieses läßt sich aus dem Gefrieren der Flüsse und Meere, worüber wir vom grauen Alterthume Nachrichten haben, abnehmen. In keinem Orte der Erde erreicht ein gegen jede Strahlung geschütztes, 5—8 Schuh über dem Boden erhöhtes Thermometer 46° C. und im offenen Meere steigt es nur auf 31° C.; die größte, ganz sichere, bis jetzt an einem in der Luft aufgehängten Thermometer beobachtete Temperatur ist 30° C., die größte beobachtete Kälte — 56°,2 C. Das Meerwasser hat an der Oberfläche nie eine Wärme von 32° C. Die südliche Halbkugel ist bedeutend kälter als die nördliche. In dieser ist unter 31° Breite Eis keine Seltenheit mehr, von 49° — 60° (wie etwa von Wien bis Petersburg) kommen schon einzelne Polareismassen zum Vorschein, das Feuerland, in einer Breite wie Preußen, hat schon ewigen Schnee. In der nördlichen Halbkugel erstreckt sich das Polareis 9° vom Pole, in der südlichen 18° — 20°, hie und da selbst 30°. Schwimmende Eismassen hat man in beiden Erdhälften 40°, manchmal 41° — 42° vom Pole angetroffen. Die Schneegrenze fällt unter dem Aequator in eine Höhe von 2460 Toisen über die Meeresfläche, in den Pyrenäen 1400,

in den Alpen 1370 Toisen; in der Breite von Spitzbergen scheint sie in die Meeresfläche einzuschneiden. Europa und Afrika sind die verhältnißmäßig wärmsten Erdtheile, Amerika der kälteste. In Europa wird bis zu 67° 20′ Breite Ackerbau getrieben, in Asien hört der Ackerbau unter 60° Br. auf, in Amerika kann selbst unter 51° Br. nicht mehr mit Vortheil gesäet werden.

Mit wachsender Breite nimmt die mittlere Temperatur in der neuen Welt viel rascher ab, als in der alten, und zwar beträgt diese Abnahme zwischen 0 — 20° n. Br., in der alten und neuen Welt 2° C.; zwischen 20 — 30° Br., in jener 4°, in dieser 6°; zwischen 30 — 40°, in jener 4°, in dieser 7°; zwischen 40° — 50° in jener 7°, in dieser 9°, und zwischen 50° — 60° in jener 5°,7, in dieser 7°,9 C. Wie abweichend in gleichen Breitengraden die mittlere Temperatur der südlichen Halbkugel von jener der nördlichen ist, läßt sich aus folgender Zusammenstellung entnehmen:

Breite	0°—15°,	mittl.	Temp.	d. nördl.	Halbkugel	28,5,	d. südl.	Halbk.	28,0
»	18°	»	»	»	»	26,5	»	»	26,5
»	22°—25°	»	»	»	»	19,3	»	»	22,5
»	34°	»	»	»	»	15,4	»	»	13,8
»	43°	»	»	»	»	17,0	»	»	16,8
»	48°	»	»	»	»	18,2	»	»	15,2
»	58°	»	»	»	»	13,5	»	»	6,2

Folgende Tafel enthält die mittlere Temperatur des Jahres, des Sommers und Winters mehrerer Orte:

Name des Ortes.	Breite.		Mittlere Jahrestemperatur nach C.	Mittl. Temperatur des	
				Sommers.	Winters.
Cumana	10°	27′	27°,7	27,8	26,8
Calcutta	22	35	26,27	28,36	21,15
Macao	23	8	23,97	29,15	17,55
Havana	23	10	25,6	28,8	21,1
Cairo	30	3	22,19	29,46	14,53
Algier	36	48	21,28	26,71	16,54
Palermo	38	7	16,77	22,02	11,31
Lissabon	38	43	16,34	21,65	11,42
Cincinati	39	6	12,12	22,82	0,52
Peking	39	54	12,7	28,1	— 3,1
Philadelphia . . .	39	56	11,9	23,3	0,1
New-York	40	40	21,1	26,2	— 1,2
Rom	41	54	15,48	24,08	8,34
Marseille	43	18	12,27	22,74	7,35
Bordeaux	44	50	13,6	21,6	5,6
Turin	45	4	11,68	21,72	1,33
Padua	45	24	13,95	23,14	1,70
Mailand	45	28	13,2	22,8	2,4
Quebeck	46	48	5,6	20,1	— 7,9
Nantes	47	13	12,6	20,3	4,7
Ofen	47	29	10,53	21,18	— 0,41
Wien	48	12	10,85	20,68	— 0,03
Paris	48	50	10,81	18,01	3,59

Name des Ortes.	Breite.	Mittlere Jahrestemperatur nach C.	Mittl. Temperatur des Sommers.	Mittl. Temperatur des Winters.
Karlsruhe	48° 59′	9°,97	18,74	1,51
Mannheim	49 29	10,30	19,55	1,50
Würzburg	49 46	10,41	20,04	0,71
Trier	49 48	9,90	18,11	1,47
Prag	50 5	9,70	20,5	— 0,30
Frankfurt am Main .	50 7	9,83	18,27	1,42
Brüssel	50 50	11,0	19,0	2,6
Erfurt	50 59	9,08	16,47	— 0,48
Dünkirchen	51 2	10,3	17,8	3,6
Breslau	51 6	7,88	17,25	— 1,02
Düsseldorf	51 15	10,64	17,38	2,77
London	51 31	9,83	16,75	3,22
Göttingen	51 32	8,30	18,20	— 0,90
Haag	52 5	11,13	18,63	3,46
Warschau	52 14	9,2	20,6	— 1,8
Amsterdam	52 22	10,9	18,8	2,7
Berlin	52 31	8,5	17,6	— 0,7
Lüneburg	53 15	9,04	17,25	0,95
Dublin	53 21	9,56	15,34	4,00
Manchester	53 30	8,70	14,81	2,81
Hamburg	53 33	8,90	18,96	0,40
Danzig	54 20	7,68	16,36	— 0,77
Königsberg	54 42	6,49	15,87	— 3,26
Copenhagen	55 41	7,69	17,17	— 0,92
Moskau	55 47	3,26	16,90	—10,50
Edinburg	55 58	8,37	14,07	3,47
Stockholm	59 21	5,64	16,30	— 3,67
Upsala	59 52	5,36	15,79	— 4,02
Christiania	59 55	5,33	15,78	— 3,66
St. Petersburg . . .	59 56	3,8	16,7	— 8,3
Drontheim	63 26	4,48	16,33	— 4,78
Umeo	63 50	1,90	14,19	—10,46
Uleo	65 0	0,66	14,34	—11,15
Winter-Insel	66 12	—12,5	2,03	—29,03
Nordcap	71 10	0,07	6,38	— 4,63
Melville-Insel . . .	74 45	—18,5	3,14	—33,33

169. Sowohl die täglichen, als die jährlichen Variationen der Wärme sind schon bei der obersten Erdschichte geringer als bei der Luft, nehmen aber gegen das Innere der Erde zu immer mehr ab, und verlieren sich endlich ganz. Schon in einer Tiefe von $1^1/_2$ — 3 F. verschwinden die täglichen, in einer Tiefe von 30 — 60 F. aber auch die jährlichen Wärmeveränderungen, und über letztere Grenze hinaus herrscht Jahr aus Jahr ein dieselbe Temperatur. Nach Quetelet nimmt der Unterschied zwischen dem jährlichen Maximum und Minimum der Temperatur in der Erde in geometrischer Progression ab, wenn die Tiefe im arithmetischen Verhältnisse wächst, und während, z. B im mittleren und nördlichen Europa diese Differenz in der Tiefe von 8.6

Meter 1° C. beträgt, beläuft sie sich in einer Tiefe von 15.3 M. nur auf 0°.1, in 22.4 M. Tiefe gar nur auf 0°.01, und kann als verschwindend klein angesehen werden. In der Erdschichte, wo es noch Variationen der Wärme gibt, tritt sowohl das Maximum als das Minimum lange nach der größten oder kleinsten Luftwärme ein, ja in Tiefen von etwa 24 F. fällt die Zeit des Maximum der Erdwärme nahe auf jene des Minimum der Lufttemperatur (Quetelet in Pogg. Ann. 38. 531). Die mittlere Temperatur der Erdoberfläche stimmt mit jener der Luft in Orten von mittlerer Breite nahe überein, und wird da, wo nicht chemische Prozesse eine Ausnahme begründen, durch die Temperatur der Quellen angezeigt. In größeren Breiten ist die mittlere Wärme des Bodens (zum großen Vortheile der Vegetation) höher als jene der Luft, in geringeren Breiten niederer, und man kann es als ausgemacht ansehen, daß die Bodenwärme vom Aequator gegen die Pole desto rascher abnimmt, je mehr man sich dem Parallelkreise von 45° nähert, höher hinauf aber einen langsameren Gang befolgt. Die Ursache dieser merkwürdigen und für die Oekonomie der Natur so wichtigen Thatsache liegt darin, daß die äußere Luftwärme in solche Tiefe vorzugsweise nur durch das eindringende atm. Wasser gebracht wird. Da aber dieses nur in mittlerer Breite das ganze Jahr hindurch in die Erde eindringt, während der Boden in kälteren Klimaten nur für das Sommerwasser offen ist, in wärmeren hingegen nur in der kälteren Zeit Regen fällt; so kann nur in ersterem die Quellenwärme mit der mittleren Luftwärme übereinstimmen, und muß in größeren Breiten höher, in kleineren aber geringer seyn als die der Luft. Die Linien gleicher Luftwärme sind von denen gleicher Erdwärme in vielen Stücken verschieden, und beide stimmen nur darin mit einander überein, daß sie nicht mit dem Aequator parallel laufen. Uebrigens hängen letztere so gut von der geographischen Länge ab, wie erstere (Humboldt in Gilb. Ann. 24. 46; Buch in Pogg. Ann. 12. 403; Kupffer ebend. 15. 159). Folgende Tafel zeigt den Unterschied zwischen der Boden- und Lufttemperatur:

Ort.	Breite.	Bodenwärme. R°	Luftwärme. R°	Seehöhe.
Congo	9 ° S	18,2	20,5	450 M
Cumana	10¼ N	20,4	27,7	0
St. Jago (Cap verdischen Inseln)	15 N	19,6	20,0	0
Rockfort (Jamaica) . .	18	20,9	21,6	0
Havana	23	18,8	20,5	0
Neval	28	18,6	20,0	0 (?)
Teneriffa	28½	14,4	17,3	0
Cairo	30	18,0	18,0	0
Cincinati	49	9,9	9,7	160
Philadelphia	40	10,2	9,9	0

Ort.	Breite.	Bodenwärme. R°	Luftwärme. R°	Seehöhe.
Carmeaux	43	10,4	11,5	300 (?)
Genf	46	8,9	7,7	350
Wien	48	8,5	8,5	136
Paris	49	9,2	8,7	75
Berlin	52½	8,1	6,4	40
Dublin	53	7,7	7,6	0
Kendal	54	7,0	6,3	0
Keswick	54½	7,4	7,1	0
Königsberg	54½	6,5	5,0	0
Ediuburg	56	7,0	7,0	0
Carlscrona	56¼	6,8	6.8	0
Upsala	60	5,2	4,5	0
Umeo	64	2,3	0,6	0
Giwarten-fiäll	66	1,0	— 3,0	500
Enontekis	66	1,2	— 4,9	
Radsoe	—	2,2	— 3,5	

Nach Rudberg's Beobachtungen ist die Temperatur der Erdrinde zu Stockholm wenigstens bis zu 3 F. Tiefe von der Tiefe unabhängig, und zur Zeit beider Aequinoctien in verschiedenen Tiefen dieselbe. (Pogg. Ann. 33. 251.)

170. Die Wärmeverhältnisse im Inneren der Erde sind verschieden, je nachdem sie sich auf das Weltmeer oder auf den festen Theil der Erde beziehen. Die Natur eines so beweglichen Körpers, wie das Wasser ist, wo die schwereren Theile fortwährend zu Boden sinken, bringt es mit sich, daß dessen Temperatur von außen nach innen abnimmt. Nach Lenz (Pogg. Ann. 20. 73) erfolgt diese Abnahme ziemlich rasch, wird aber nach einwärts immer langsamer und endlich unmerklich. Die Tiefe, wo dieses Statt findet, scheint mit dem Zunehmen der Breite immer aufwärts zu rücken; sie beträgt bei 41°—32° Breite 200—300 T., bei 21° Br. 400 T. Die niedrigste Temperatur, welche Lenz fand, war 2°.2. Die Untersuchung erstreckte sich auf 1000 T. Tiefe. Anders verhält es sich mit der Temperatur im festen Theile der Erdrinde. Wäre die Temperatur der Erde bloß von der Einwirkung der Sonne abhängig, so müßte sie gegen innen sehr rasch abnehmen; die Erfahrung lehrt aber, daß die Temperatur der Erde gegen den Mittelpunct zu wächst. Man hat dieses aus Beobachtungen abgenommen, die man in natürlichen oder künstlichen Höhlen (Schachten oder Bohrlöchern) an Stellen machte, wo der Einfluß der äußeren Luft nur klein seyn konnte und jede Erwärmung durch Menschen und Lichter möglichst gemieden wurde, oder an wasserreichen artesischen Brunnen. Ueber das Gesetz dieser Zunahme der Wärme hat man noch nichts Sicheres ausmitteln können. Die wasserreichen artesischen Brunnen um Wien geben in einer Tiefe von 80 F. eine Zunahme der Temperatur von 1° R., und eben dieses lehren im Durch-

schnitte die in England, Frankreich, Deutschland und Rußland vorgenommenen Messungen derselben Art. Es ist nicht leicht, dieses Zunehmen der Wärme in der Erde anders zu erklären, als durch die Annahme, die Erde habe in ihrem Innern noch einen bedeutenden Rest ihrer ursprünglichen Wärme; doch ist gewiß, daß sich die Temperatur der ganzen Erde seit 2000 Jahren nicht um $^1/_{10}{}^\circ$ vermindert habe; denn eine solche Verminderung der Erdwärme wäre mit einer Volumveränderung verbunden, die sich durch ihren Einfluß auf die tägliche Umdrehungszeit der Erde deutlich kund hätte geben müssen, und den Beobachtern gewiß nicht entgangen wäre.

Zu Beobachtungen der Temperatur in tiefen Schachten oder Bohrlöchern hat man besonders eingerichtete Thermometer, worunter das von Magnus angegebene Geothermometer das brauchbarste seyn dürfte. Dieses ist ein gewöhnliches Quecksilberthermometer mit verhältnißmäßig weiter Röhre und einer nur wenige Grade über 0° enthaltenden Scale mit Graden von mindestens $^1/_2$ Z. Größe. Das Ende der Röhre ist in eine feine krumme Spitze ausgezogen, daselbst offen gelassen, aber mit einer weiteren Kappe gedeckt. Läßt man dieses Instrument in die Tiefe hinab, deren Temperatur bestimmt werden soll, so wird ein Theil Quecksilber aus der Röhre in die Kappe getrieben und bleibt in derselben, wenn auch die Temperatur beim Heraufziehen des Instrumentes wieder sinkt. War es, so lange alles Quecksilber in der Röhre sich befand, mit einem Normalthermometer übereinstimmend, und man bringt es nach dem Heraufziehen aus der Tiefe, wo etwas Quecksilber in die Kappe abfloß, wieder mit diesem zusammen und beobachtet die Differenz d in ihrem Stande; so war es in der Tiefe einer Temperatur ausgesetzt, welche d° höher ist als jene, bei welcher das Quecksilber die ganze Röhre ausfüllte. Man hat auch ein thermoelektrisches Element, das man mittelst langer Drähte mit einem Multiplicator verbindet, als Geothermometer empfohlen. (Cordier in Schweigg. J. 52. 365; *Ann. de Chim.* 13. 283. Arago in seinem *Annuaire pour l'an* 1834. *p.* 171. Pogg. Ann. 31. 365; 32. 284; 34. 191; 35. 109. Die Wärmelehre des Innern unseres Erdkörpers ꝛc. von Dr. G. Bischof. Leipzig 1837.) Ueber dieses Kapitel ist als Hauptquelle anzusehen: *Recherches sur les causes des inflexions des lignes isothermes,* und: *Considérations sur le temp. et l'état hygrom. de l'air dans quelques parties de l'Asie. Par M. de Humboldt* in dessen *Fragmens de Géologie et de Climatologie asiatiques. Paris* 1831. Dove's Repertorium der Physik. Bd. 3 u. 4. Kreil's astron. meteorologisches Jahrbuch. 1. Jahrg. Prag 1842.

Drittes Kapitel.

Veränderungen im Drucke der Luft- und Dunstatmosphäre.

171. Wenn man ein Barometer nur eine kurze Zeit hindurch beobachtet, so überzeugt man sich, daß es beständigen Veränderungen unterworfen sey, und bald in schnelleren, bald langsameren, bald größeren, bald kleineren Oscillationen steige und falle. Einige dieser Veränderungen kommen von der verschiedenen Temperatur des Queck-

silbers her; man kann aber den jedesmaligen Barometerstand durch die I. 226 angegebene Correctionsmethode von diesem Einflusse unabhängig darstellen, und sich überzeugen, daß wirklich Aenderungen im Drucke der schweren, die Atmosphäre constituirenden Körper vorgehen. Eine gute Uebersicht aller innerhalb einer bestimmten Zeit vorfallenden Barometerveränderungen gewinnt man aus einer graphischen Darstellung derselben.

172. Zwischen den Wendekreisen zeigen schon 24stündige Beobachtungen, daß der Barometerstand regelmaßigen täglichen Veränderungen unterliege, die so scharf hervortreten, daß man aus denselben beinahe die Tagesstunde erkennen kann. Außerhalb der Wendekreise erfolgen diese Veränderungen scheinbar ganz unregelmäßig; aber etwa einen Monat lang fortgesetzte Beobachtungen geben für die einzelnen Beobachtungsstunden Mittelwerthe des Druckes, die von den unregelmäßigen Schwankungen frei sind und einen regelmäßigen täglichen Gang desselben unzweifelhaft erkennen lassen. Gegenwärtig ist der Zustand unserer Kenntnisse in diesem Fache folgender: Fast auf der ganzen Erde, vom Aequator bis zu einer Breite von 79° und zu einer Höhe von 2000 Klaftern, erlangt das Barometer täglich zweimal seinen höchsten und eben so oft seinen niedrigsten Stand, und zwar ersteren zwischen $8^1/_2$ und $10^1/_2$ Uhr früh und zwischen 9 und 11 Uhr Abends, letzteren zwischen 3 und 5 U. Abends und zwischen 3 u. 5 U. Morgens; nur in Ostindien sollen diese Variationen, nach Horsburgh's Beobachtungen, von dieser Regel abweichen und zur Regenzeit an einigen Orten ganz ausbleiben. Die Wendestunden rücken im Winter dem Mittage näher als im Sommer, und die tägliche Aenderung ist im Monat April am größten. Mit wachsender geogr. Breite wird die tägliche Schwankung immer kleiner. Der Zustand der Atmosphäre hat auf die Zeit dieser Veränderungen keinen Einfluß, die Höhe eines Ortes scheint die Wendestunden dem Mittag näher zu bringen und die Größe der Schwankung zu vermindern.

Die tägliche Variation des Barometerstandes beträgt zu Quito 2.82 Mill., Guayna (10° 36′ Br.) 2.44, Jamaika (17° 56′ Br.) 1.45, canarischen Inseln (28° 8′ Br.) 1.10, Rom (41° 54′ Br.) 0.70, Marseille (43° 18 Br.) 0.72, Straßburg (48° 34′ Br.) 0.80, Paris (48° 50′ Br.) 0.76, London (51° 31′ Br.) 0.38 in 74° Breite 0.10 Mill.

173. Wenn man, wie bei den Wärmebeobachtungen (163), aus den in jedem Monat erhaltenen Resultaten die jeder Beobachtungsstunde entsprechende Barometerhöhe, also für jede Stunde das Monatmittel berechnet, so erhält man aus diesen den mittleren täglichen Gang des Barometers für jeden Monat. Der Durchschnitt aller Monatmittel gibt ferner für jede Stunde den mittleren täglichen Gang des Druckes für das ganze Jahr. Vergleicht man nun diese jährlichen Mittel mit den zu derselben Stunde gehörigen Monatmitteln, so findet man letztere bald größer, bald kleiner als erstere. Es zeigt sich aber dabei das merkwürdige Gesetz, daß in den Monaten Juni, Juli und August der Druck Vormittags meistens größer, Nachmittags meistens geringer ist,

als nach dem Jahresmittel, in den späteren Abendstunden aber eine diesen gleiche oder bedeutendere Größe erreicht. Im October, November und December findet ein entgegengesetztes Verhalten Statt, der Monat Februar schließt sich an diese Monate an; im April, Mai und September nähert sich der Gang des Barometers mehr jenem der Sommermonate, im Januar und März ist der Barometerstand in den ersten Morgen- und späteren Abendstunden tiefer, in den übrigen Tagesstunden höher als nach dem Jahresmittel. Es fällt demnach im Sommer der höhere Stand des Barometers, im Winter der niedere Stand desselben in die Zeit des täglichen Maximums, woraus natürlich folgt, daß der höchste Barometerstand im Sommer höher, der niedrigste geringer ausfallen müsse, oder daß die Variation im Sommer größer sey als im Winter. Der absolute Stand des Barometers ist in der Regel im Winter höher als im Sommer, die jährliche Variation richtet sich aber nach der Höhe und geogr. Breite eines Ortes und nach Localverhältnissen. Sie wächst mit der geographischen Breite und in der gemäßigten Zone auch mit der Höhe eines Ortes, in der kalten Zone nimmt sie aber in der Höhe ab. An der Ostküste von Amerika ist diese Veränderung bei gleicher Breite größer als an der Westküste von Europa, und nimmt auch von da gegen das Innere von Europa immer mehr ab, so daß Linien, welche Orte von gleichen Aenderungen des atmosphärischen Druckes mit einander verbinden (isobarometrische Linien), von der amerikanischen Küste an nach Norden hinaufsteigen, bis sie das Innere Asiens erreichen, von wo sie sich wieder zu senken scheinen. Ueber der See scheint sich der Barometerstand öfter und regelmäßiger zu ändern, als in Binnenländern. Uebrigens bleibt für einen und denselben Ort die mittlere Barometerveränderung von einem Jahre zum andern nahe gleich.

174. Das Mittel aus einer großen Anzahl von Barometerbeobachtungen an demselben Orte gibt jenen Stand des Barometers, um welchen die Oscillationen desselben erfolgen. Je größer die Anzahl der dazu gebrauchten Barometerhöhen ist, desto zuverläßiger fällt das Resultat aus; es ist aber auch nicht gleichgültig, an welcher Tageszeit die Barometerhöhe beobachtet wird. Der Barometerstand zu Mittag weicht vom täglichen Mittel nur wenig ab, eben so das Mittel aus dem um 9 Uhr Abends und um 10 Uhr früh gefundenen. Jedoch ist die Windesrichtung zur Zeit der Beobachtung nicht gleichgültig. Im mittleren Europa entspricht der mittlere Druck einem Winde, der aus SW. kommt.

175. Wäre die Atmosphäre vollkommen ruhig, ihre Temperatur und Zusammensetzung allenthalben dieselbe, so könnte man auf theoretischem Wege den mittleren Druck an jedem Orte aus dem an einer bestimmten Stelle bekannten Drucke durch Rechnung finden; allein die in der Luft stets vorhandenen Strömungen, so wie die Ungleichheiten der Temperatur machen diese Berechnungen aus theoretischen Gründen unmöglich, und man bleibt demnach hierin ganz der Erfahrung überlassen. Diese lehrt, daß der mittlere Druck an der Meeresfläche sowohl von der geographischen Länge, als von der Breite ab-

hängig sey. Er nimmt nach Erman sowohl in der nördlichen, als in der südlichen Halbkugel, von einem dem Aequator nahe gelegenen Breitenkreise an, sowohl gegen Süd als gegen Nord bis zu einer gewissen Breite zu, von diesen Grenzen an gegen die Pole hin aber wieder ab. Aus Schouw's Untersuchungen (Pogg. Ann. 26. 395) ergeben sich in Bezug auf den mittleren Barometerstand an der Meeresfläche in der nördlichen Halbkugel, folgende Gesetze: Vom Aequator bis zu einer Breite von 15° hat der mittlere Luftdruck eine Größe von 337---338''' Par. M., in der Zone 15°—30° ist das Mittel des Luftdruckes höher, nämlich 338—339''', in der Zone von 30°—45° gleich 337.5'''—339, zwischen der Breite von 45° und dem Polarkreise nimmt der mittlere Luftdruck bedeutend ab, und beträgt nur 337'''.5—338''', innerhalb des Polarkeises scheint der mittlere Druck wieder zu steigen. Was die Abhängigkeit des atmosphärischen Druckes von der geographischen Länge betrifft, so scheint selbe durch die Mittheilungen von Erman (über meteorol. Beobachtungen bei einer Seereise um die Erde in Schumacher's Jahrbuch für 1840) außer Zweifel gestellt, indem sich dieser Druck bei gleicher Breite und in derselben Jahreszeit sowohl in der südlichen, als in der nördlichen Halbkugel größer zeigt im atlantischen, als in dem westlich von Amerika gelegenen großen Oceane, ein Umstand, der schließen läßt, es seyen die Bewegungen der Atmosphäre nicht bloße periodische Schwankungen um einen mittleren Zustand, sondern fortdauernde Strömungen.

176. Die bisher dargestellten Gesetze des atmosphärischen Druckes beziehen sich auf die gesammten, schweren, die Atmosphäre constituirenden Körper, mithin auf die vereinte Wirkung der trockenen Luft und der Wasserdünste. Da nämlich die Erde beständig mit Wasser in Berührung steht und die herrschende Temperatur nie jene Grenze erreicht, bei welcher das Wasser fix ist; so müssen beständig Wasserdünste entstehen, in der Luft sich verbreiten und eine für sich bestehende, schwere Atmosphäre bilden, und der Barometerstand muß demnach den vereinten Druck der Luft und dieser Dünste anzeigen. Glücklicher Weise kann man durch hygrometrische Untersuchungen (I. 226) die absolute Spannkraft des Wasserdunstes bestimmen, und indem man die Höhe der ihr entsprechenden Quecksilbersäule von dem beobachteten Barometerstande abzieht, den Druck der trockenen Luft finden. Man muß sich daher, um die Aenderungen der trockenen Luft kennen zu lernen, vorerst mit den Variationen des Dunstdruckes vertraut machen. Diese befolgen eine tägliche und jährliche Periode. Es erreicht nämlich der Dunstdruck im Sommer täglich zwei größte und zwei kleinste Werthe, im Winter aber nur einen größten und einen kleinsten Werth. Das erste Maximum des Sommers tritt um 8—9 Uhr Vormittags, das zweite um 10 Uhr Abends; das erste Minimum um 5—6 Uhr Morgens, das zweite um 3—4 Nachmittags ein; das Minimum des Winters hat um 6—8 Uhr Vormittags, das Maximum um 4 Uhr Nachmittags Statt. Der Uebergang der vier Wendestunden des Sommers in die zwei des Winters erfolgt natürlich allmälig durch succes-

sive Verschiebung der Stunden des Maximums, und endliches Zusammenfallen in eine einzige. Die Ursache dieser Variationen des Dunstdruckes scheint darin zu liegen, daß im Laufe des Tages sowohl die Dunstbildung, welche den Dunstdruck vermehrt, als die aufwärts gerichteten Luftströme, wodurch der Dunst vertheilt und sein Druck an einer Stelle vermindert wird, mit der Temperatur ab- und zunehmen, und daß von beiden Wirkungen im Sommer bald die eine, bald die andere das Uebergewicht hat. Des Morgens herrscht die geringste Temperatur und die kleinste Dunstmenge, mithin auch der geringste Dunstdruck; so wie aber im Sommer die Temperatur steigt, nimmt mit der Verdunstung auch die Anhäufung der Dünste und deren Druck zu. Nach 8—9 Uhr beginnen jedoch die aufsteigenden Ströme, vermindern die Dünste, und bringen sie zur Zeit, wo sie am mächtigsten sind, nämlich nach der größten Tagestemperatur, wieder auf ein Minimum. Nach diesem hören diese Ströme allmälig auf, die Verdunstung dauert fort, der Dunstdruck wächst wieder und erreicht am Abend das Maximum. Von da gestattet die niedere Temperatur keine Vermehrung der Dünste mehr, sondern es tritt vielmehr eine Zersetzung derselben ein, und somit erreicht ihr Druck zur Zeit der kleinsten Temperatur den kleinsten Werth. Im Winter können die fast ganz fehlenden oder doch nur sehr schwachen aufwärts gerichteten Ströme keine Dünste wegführen, und es muß daher der Dunstdruck fast der Temperatur folgen. Der absolute Dunstdruck ist natürlich im Sommer viel größer als im Winter (er beträgt bei uns nach Kreil's Beobachtungen in den Monaten Juli und August 4—6 P. L., im Winter 1 — 2 L.), und dasselbe gilt von der Größe seiner täglichen Variation (nach Kreil bei uns im Sommer $^1/_2$ L., im Winter $^1/_{10}$ L.). Vergleicht man die den einzelnen Beobachtungsstunden entsprechenden Monatsmittel mit den denselben Stunden angehörigen Jahresmitteln, so erfährt man, daß im Sommer in den letzten Vor- und den ersten Nachmittagsstunden, nämlich von 10 Uhr bis 4—6 Uhr das Monatsmittel kleiner, in den späteren Abendstunden hingegen größer sey, als das Jahresmittel, und daß im Winter das Gegentheil Statt finde. Um 10 — 11 Uhr Vormittags und um 6 — 7 Uhr Abends scheint nach Kreil bei uns der Dunstdruck dem mittleren Jahreswerthe am nächsten zu stehen.

177. In verschiedenen Orten ist bei übrigens gleichen Umständen der Druck des Wasserdunstes desto kleiner, je größer die geogr. Breite des Ortes ist, und zwar ist die Abnahme des Druckes mit wachsender Breite im Winter größer als im Sommer. Dieses hat Erman auf seiner Reise um die Erde durch directe Beobachtungen ausgemittelt; es läßt sich aber auch schon daraus entnehmen, daß die Quantität des im Laufe eines Jahres an einem Orte verdünsteten Wassers desto größer ist, in je geringerer Breite derselbe liegt. Man kann dieses durch Beobachtungen mittelst des sogenannten Atmometers ausmitteln, einem Wasser enthaltenden und bis zum Wasserspiegel in einen größeren Wasserbehälter eingesenkten offenen Gefäße, in welchem man die Höhe der durch Verdünstung verschwundenen Wassersäule an einer Scale

messen kann. Der Dunstdruck scheint auch von der geogr. Länge abzuhängen, wenigstens erscheint er bei gleicher Breite im atlantischen Ocean von dem im großen Ocean ziemlich verschieden. Nach aufwärts muß die Größe des Dunstdruckes aus einleuchtenden Gründen rasch abnehmen.

Folgende Tabelle gibt die Höhe der in einem Jahre verdünsteten Wassersäule in W Zollen so, wie sie Versuche, durch eine naturgemäße Hypothese ergänzt, angegeben:

Geographische Breite	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Jährliche Verdunstung	66,6	63,6	55,5	44,9	34,4	25,7	19,4	15,3	13,1	12,4

Der Druck des Dunstes ist unter einerlei Breite im großen (I) und atlantischen Ocean (II) in P. Linien nach Erman wie folgt:

Geographische Breite . . .	0°	10°	20°	30°	40°	50°	Mittel
Dunstdruck I	9,00	8,36	6,95	5.73	4,26	3,11	6.26
Dunstdruck II	8,44	8,58	7,71	6.70	5,54	3,30	6.80

178. Man ist nun mit Hülfe des Vorhergehenden im Stande, die Größe des Druckes der ganz dunstlosen Atmosphäre und die Veränderungen desselben zu finden. Dadurch erhält man die Ueberzeugung, daß der Druck der trockenen Luft täglich nicht zwei Maxima und zwei Minima, sondern nur ein Maximum und ein Minimum habe, und daß die Zeit des Eintretens dieser von den Jahreszeiten abhänge. Das Maximum tritt nämlich im Sommer um 6 Uhr, im Winter um 9 Uhr Morgens, das Minimum im Sommer um 6 Uhr, im Winter um 4 — 5 Uhr Abends ein. Nach Erman hat auch der Druck der trockenen Luft in jeder Hemisphäre in einer dem Aequator nahen Zone den kleinsten Werth und wächst von da an gegen die Pole hin bis zu einer bestimmten Breite, und zwar noch rascher als der gesammte atmosphärische Druck. Er erreicht in einer gewissen Breite (45°) seinen größten Werth, und nimmt von da an weiter gegen den Pol hin nicht mehr so rasch ab, als dieses mit dem gesammten Drucke der Fall ist. Auch die geographische Länge zeigt einen Einfluß auf den Druck der dunstlosen Luft.

179. Entsteht nun die Frage, woher die Veränderungen des Barometerstandes rühren, so sieht man leicht ein, welch großen Antheil an denselben die größere oder kleinere Dunstmenge habe. Doch kann einem nicht entgehen, daß auch die Temperaturänderungen und die Luftströme hiebei eine große Rolle spielen. Wird nämlich die Luft in einer Gegend stärker erwärmt als in der Umgebung, so dehnt sie sich daselbst nach aufwärts aus, und die ganze Luftsäule wird verlängert. Der verlängerte Theil hat nun nicht mehr wie früher an der seitwärts angrenzenden Luft eine Stütze, und muß sich demnach über dieselbe ergießen. Die erwärmte Luftsäule ist nun wohl nahe wieder so hoch, als vor der Erwärmung, aber die Masse der Luft und daher auch ihr Druck ist vermindert, und ein an der Basis der fraglichen Luftsäule befindliches Barometer muß fallen, während die Luftmasse der Umgebung durch die über sie sich ergießende erwärmte Luft vermehrt und ein daselbst befindliches Barometer zum Steigen gebracht

wird. Bewegte Luft übt schon ihrer Natur nach einen geringeren Druck auf ihre Umgebung aus, als ruhende (I. 341), und somit muß eine Luftbewegung eine Verminderung des Barometerstandes zur Folge haben. Man hat schon lange eine Einwirkung des Mondes und der Sonne auf den Barometerstand vermuthet, weil diese Körper durch ihre anziehende Kraft auf die Atmosphäre wirken, und dadurch in derselben eine Art Ebbe und Fluth erzeugen, wodurch die Gestalt der Erde und die Basis der Atmosphäre verändert und somit auch die Anziehung der Erde zur Atmosphäre modificirt wird. Nach der Theorie soll die hiedurch bewirkte Aenderung im Luftdrucke nur $^1/_{100}$ P. L. betragen, aber zweckmäßig benützte Beobachtungen ließen Kreil schon diese Wirkung der täglichen Bewegung des Mondes gleich $^1/_{10}$ P. L. erkennen, jene der Sonne hingegen drei- bis sechsmal größer. Höchst merkwürdig ist die ebenfalls von Kreil zuerst gemachte Bemerkung, daß die Wirkung des Mondes auf die Atmosphäre bei seiner täglichen Bewegung im Sommer zwei Maxima und zwei Minima erzeugt, und daß die Wendestunden, nach Mondeszeit gezählt (d. h. an einer Uhr, die Mittag zeigt, wenn der Mond über dem Horizont, und Mitternacht, wenn er unter dem Horizont durch den Meridian geht), mit jenen übereinstimmen, in welchen, nach Sonnenzeit ausgedrückt, die Wendungen des Barometerstandes täglich eintreten. Im Winter wird aber nur ein tägliches Maximum und ein Minimum in der Wirkung des Mondes bemerkt. (Kreil's astron. meteorologisches Jahrbuch. 1. Jahrgang.)

Viertes Kapitel.

Luftströmungen.

180. Jede im Verhältnisse zur Erdoberfläche fortschreitende Bewegung der Luft heißt Wind. Die zugleich mit der Erde Statt findende Axendrehung der Atmosphäre macht daher keinen Wind, wohl aber muß jede Aenderung der Ausdehnsamkeit der Luft einen solchen erzeugen. Lüftchen, Sturm, Orcan sind nur dem Grade nach verschiedene Winde. Die verschiedenen Winde unterscheiden sich von einander vorzüglich durch ihre Richtung und Stärke, welche letztere wieder von ihrer Geschwindigkeit abhängt.

181. In der Regel benennt man einen Wind nach der Weltgegend, von welcher er bläst. Stimmt diese nicht mit einer der vier Hauptweltgegenden überein, so setzt man den Namen aus den Hauptweltgegenden zusammen, zwischen welche seine Richtung fällt, nennt aber immer Süd oder Nord zuerst. So führt ein Wind, der von einer Gegend herbläst, die mitten zwischen Nord und West liegt, den Namen Nordwestwind (nicht Westnordwind); jener, dessen Richtung mitten zwischen Süd und Ost liegt, Südostwind (nicht Ostsüdwind). Winde, die aus einer Gegend kommen, welche zwischen Nordost, Südost, Südwest, Nordwest und einer Hauptweltgegend liegt, be-

kommen den Namen aus dieser und der Hauptgegend. Sie heißen demnach Nordnordost-, Ostnordost-, Ostsüdost-, Südsüdost-, Südsüdwest-, Westsüdwest-, Westnordwest-, Nordnordwestwinde. Man erkennt die Richtung der Winde aus der Richtung freistehender Dachfahnen, aus der Bewegung der zarten Baumäste, in Ermanglung eines andern Mittels auch aus der schiefen Richtung einer herabfallenden Feder. Ein benetzter in die Luft emporgehobener Finger ist stets an der Windseite am kältesten.

182. Die Stärke (Geschwindigkeit) des Windes berechnet man aus der Bewegung eines leichten Körpers, z. B. einer Feder, aus dem Parameter der Bahn eines durch den Wind fortgetriebenen und zugleich durch die Schwere vertical herabgezogenen Körpers oder mittelst eigener Instrumente, die Anemometer heißen, und unmittelbar entweder die Höhe angeben, bis zu welcher ein bestimmtes Gewicht durch den Wind gehoben wird, oder die Größe der Verschiebung einer bestimmten Last oder endlich die Umdrehungszahl kleiner Windflügel, aus denen sich durch Rechnung die Geschwindigkeit finden läßt. Wollaston's Differenzialbarometer dürfte auch ein hiezu brauchbares Werkzeug abgeben. Herrscht nämlich an einem Orte der Luftdruck p, an einem andern der Druck g, so geht nach Schmidt aus diesem Unterschiede des Druckes ein Wind von der Geschwindigkeit $v = \frac{p-g}{2} \cdot 1215$ P. F. hervor. Die Größen p und g mißt man aber am leichtesten mittelst des letztgenannten Instrumentes (Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels von Woltmann. Hamburg 1790. Schmidt's Windmesser in Pogg. Ann. 14. 59). Mäßige Winde haben in unseren Gegenden eine Geschwindigkeit von 12—15 F., bei einer Geschwindigkeit von 32 Fuß gehören sie schon zu den Stürmen. Man will aber schon Stürme von 120 Fuß Geschwindigkeit beobachtet haben.

183. Alle Bewegungen der Luft werden zunächst durch eine Aenderung ihrer Ausdehnsamkeit hervorgebracht, und die Ausdehnsamkeit der Luft wird in der Atmosphäre fast immer durch die Temperatur geändert. Es ist in 179 gezeigt worden, daß die locale Erwärmung der Luft ein Ueberfließen derselben auf die benachbarten Schichten in den oberen Regionen, also einen Wind vom warmen zum kälteren Orte zur Folge habe. Aber in den unteren Regionen muß die Luft vom kälteren Orte zum wärmeren hinströmen, weil in letzterem die durch den aufwärts gerichteten Strom verminderte Luftmasse dem Luftdrucke der benachbarten Luftschichten nicht gewachsen ist. Demnach hat die ungleiche Erwärmung der Luft über zwei neben einander befindlichen Gegenden auch zwei einander entgegengesetzte, über einander befindliche Winde zur Folge, unten von der kälteren Gegend zur wärmeren, oben von der wärmeren zur kälteren. Erstrecken sich die Ströme nicht auf mehrere Breitengrade, so hat auf ihre Richtung die Axendrehung der Erde keinen Einfluß, bei weiter Erstreckung hingegen macht sich dieser Einfluß wohl bemerkbar, wie nachher gezeigt

werden wird. Es ist leicht einzusehen, daß bei der verschiedenen Erwärmungsfähigkeit von Wasser und festem Land, ja verschiedener Theile des festen Landes selbst, die erwärmende Kraft der Sonne ununterbrochen Veranlassung zu Luftströmungen werden muß, um so mehr, als die Atmosphäre nicht immer und nicht allenthalben den Strahlen derselben bis zur Erde durchzudringen erlaubt, sondern häufig Wolken ihrem directen Einflusse locale Hindernisse in den Weg setzen.

184. Das Aufsteigen der Luft muß natürlich in der heißen Zone wegen der dort herrschenden starken Erwärmung am kräftigsten vor sich gehen, und deßhalb muß daselbst auch das Zuströmen der Luft von den Seiten am merklichsten seyn. Die aus Nord und Süd kommenden Ströme haben eine kleinere Rotationsgeschwindigkeit, als der Gegend entspricht, wohin sie zielen, sie bleiben darum in der Richtung von West nach Ost zurück, und erscheinen demnach als östliche Ströme. Darum muß dort, wo die Sonne im Zenith steht, und wohl auch in einiger Entfernung davon, ein beständiger Ostwind (Passatwind) herrschen. Da, wo die zwei entgegengesetzten Ströme gleiche Stärke haben, heben sie sich auf, und der Wind erscheint rein östlich; außerhalb dieser Grenze aber entsteht durch Zusammensetzung des Nordstromes mit dem aus der Arendrehung der Erde hervorgehenden Oststrome ein NO., durch Zusammensetzung des Südstromes mit demselben Ostwinde ein SO. Wind. Demnach hat man drei Gürtel. In dem mittleren derselben herrscht ein schwacher Ostwind, der oft von Stürmen unterbrochen wird, und diese Region heißt die der Calmen. An der Nordseite dieser Region ist die des NO. Passates, an der Südseite jene des SO. Passates. Behielte die Sonne immer dieselbe Abweichung, so würden diese Zonen unverändert bleiben; wegen der Aenderung der Abweichung der Sonne rücken sie aber insgesammt gegen Nord oder Süd, je nachdem die Sonne gegen den nördlichen oder südlichen Wendekreis zu geht. Die mittlere Breite der Region der Calmen ist nahe 6°, wächst aber im August bis auf 9° 3/4, und vermindert sich im December auf 2° 1/4. Die Breite der Zone zwischen dem NO. und SO. Passate wechselt in verschiedenen Jahreszeiten zwischen 3° 1/3 und 8° 5′, und beträgt im Durchschnitte 5° 52′. Der NO. Passat herrscht zwischen 2° u. 13° n. B., der SO. Passat zwischen 2° u. 21° s. B. Demnach liegt der größere Theil der Region der Calmen in der nördlichen Halbkugel. Diese Windverhältnisse treten über großen Meeren am reinsten hervor, weil da die Erwärmung weniger durch fremdartige Einflüsse gestört wird, als auf dem festen Lande, und nicht wie da andere Nebenströmungen entstehen. In der That bemerkt man den Passat auch am deutlichsten in den drei großen Meeren der heißen Zone, im großen Ocean zwischen Amerika, Asien und Neuholland, im atlantischen und im indischen Meere, jedoch mit Modificationen, die von den Eigenthümlichkeiten dieser Meere, von der Nähe der Küsten, von der Gestalt, Erhebung und Richtung derselben, und ihrer verschiedenen Erwärmungsfähigkeit herrühren. Dadurch werden die Passatwinde auch in die beständigen Küstenwinde um-

gewandelt. Der an der Westküste Mexico's herrschende beständige Westwind, der an den brasilianischen Küsten wehende Südwind verdankt besagten Verhältnissen seinen Ursprung. Dem unteren Passatwinde muß in der oberen Luftregion ein gerade entgegengesetzter entsprechen, und demnach nördlich von dieser Region ein Südweststrom, südlich davon ein Nordweststrom bestehen. In der heißen Zone befinden sich diese zwei Ströme, der Aequatorial- und der Polarstrom, deren jeder eine bestimmte Richtung hat, über einander, und davon rührt die große Regelmäßigkeit der Windverhältnisse dieser Gegenden her. Je weiter der Aequatorialstrom sich von seinem Ursprunge entfernt, desto mehr kühlt er sich ab und sinkt herunter, so daß zuletzt beide Ströme neben einander hinfließen. In welcher Höhe die Grenze der zwei entgegengesetzten Passate liege, ist nicht ganz ausgemacht. Auf der Silla de Caraccas fand Humboldt den Passat noch in der Höhe von 1350 Klaftern, auf Teneriffa herrscht aber schon in der Höhe von 1500 Kl. ein Westwind.

185. Einige Gegenden gehören immerfort der Region der Passatwinde an, wiewohl diese Region der Sonne folgt, und sich daher mit ihr nach N. und S. verschiebt; in andern Gegenden herrscht der Passatwind nur einen Theil des Jahres hindurch, so lange nämlich die Sonne, vermöge ihrer Abweichung, diese Gegend zur Passatregion macht. Daselbst tritt also der Passatwind schon als ein periodisch wiederkehrender und aussetzender Wind auf. Dieses ist im atlantischen Ocean zwischen 24—32° n. Br. der Fall. Solche an bestimmte Jahreszeiten gebundene Winde heißen Moussons. Sie herrschen einen Theil des Jahres hindurch nach einer bestimmten Richtung, und setzen den übrigen Theil ganz aus, oder wehen nach entgegengesetzter Richtung. Von letzterer Art sind die in einem großen Theile des indischen Meeres, an den Küstenländern Asiens und Afrika's herrschenden Winde. Ihr Grund liegt in der ungleichen Erwärmung der dieses Meer einschließenden Länder, welche zur selben Zeit gerade entgegengesetzte Jahreszeiten haben. Während der nördlichen Abweichung der Sonne haben wirklich nördlich gelegene Grenzländer die höhere Temperatur, und der Wind weht über das Meer aus Südwest; während der südlichen Abweichung der Sonne hingegen kommt den südwestlich gelegenen Ländern die höhere Temperatur zu, und darum herrscht über dem Meere ein Nordostwind. (Dove in Pogg. Ann. 21. 177.)

186. Von derselben Art, wie die letztgenannten Winde, sind auch die Land- und Seewinde, nur mit dem Unterschiede, daß ihre Periode nicht ein Jahr, sondern nur einen Tag beträgt. An den Küstenländern bläst nämlich Nachts in der Regel der Wind vom Land zur See, des Tages von der See auf das feste Land hin, weil sich das Land bei Tage eher und stärker erhitzt als der Spiegel des Wassers, Nachts aber auch schneller und stärker abkühlt. Solche periodische Winde herrschen nicht bloß an den Küstengegenden des Meeres, sondern auch in langen Thälern und Schluchten, an den Ufern großer Seen, wie z. B. am Gardersee, am Bodensee rc. (Fournet in Pogg. Ann. Ergänz. 1. 490.)

187. Die zwei entgegengesetzten Hauptströme (nämlich der NO. und SW. Strom), welche die Windverhältnisse der heißen Zone bestimmen, sind auch die Hauptursachen der in den gemäßigten und kalten Erdgürteln herrschenden Luftbewegungen. Daß hier die Winde nicht immer so constante Richtungen haben, wie zwischen den Wendekreisen, ja daß es sogar in den Augen des im Beobachten Ungeübten den Anschein haben mag, als wenn in Bezug auf Windesrichtung in der gemäßigten und kalten Zone gar keine bestimmte Regel gälte, rührt nur von dem Umstande her, daß hier die zwei Luftströme nicht mehr über, sondern neben einander hinfließen, sich gegenseitig zu verdrängen suchen, und daß durch Zusammenwirken beider Winde eine Mittelrichtung erzeugt wird. Da, wo beide Winde neben einander fortströmen, entstehen große Wirbel, die natürlich alle Windesrichtungen in sich schließen, und Gegenden, wo dieses Statt findet, haben darum sehr veränderliche Winde; in der Mitte der zwei Hauptströme aber herrscht eine bestimmte Windesrichtung anhaltend. Hat z. B. irgendwo der NO. das Uebergewicht, so wird er, je weiter er aus NO kommt, durch die Axendrehung der Erde immer mehr östlich und endlich zu einem reinen Ostwinde, und dieser dauert in der Regel, bis der SW. das Uebergewicht zu erhalten anfängt. Dieses macht sich zuerst dadurch bemerklich, daß durch Zusammensetzung des O. mit dem SW. wieder ein SO. und S. Wind hervorgeht, endlich aber in einen reinen SW. übergeht, der aber vermöge der Axendrehung der Erde bald zu einem W. Wind wird Dieser kann nur wieder durch den NO. verdrängt werden, aus dessen Zusammensetzung mit dem W. Winde ein NW. u. N. Wind hervorgeht, und endlich als reiner NO. Wind erscheint. Daher kommt es, daß der Wind in der Regel in den Richtungen S., W., N., O., S. wechselt und nicht umgekehrt. In der südlichen Halbkugel erfolgt die Drehung im entgegengesetzten Sinne. Daß der nördliche Strom, als der kältere, immer zuerst in den unteren, der südliche, als der wärmere, zuerst in den oberen Regionen eintreten müsse, ist für sich klar, so wie es eine natürliche Folge des vorgenannten Drehungsgesetzes ist, daß die Winde der Westseite dem Uebergange des südlichen Stromes in den nördlichen, die der Ostseite dem Uebergange des nördlichen in den südlichen folgen.

188. Was nun die Windverhältnisse einzelner Orte anbelangt, so hat Schouw gezeigt, daß die an jedem Orte herrschende mittlere Richtung der Winde nahe eine beständige Größe sey. Er zeigt, daß im nördlichen mittleren Europa die Winde der Westseite über jene der Ostseite das Uebergewicht haben, daß aber dieses Uebergewicht vom atlantischen Ocean gegen das Innere des Landes hin abnehme. Nahe am atlantischen Meere haben die westlichen Winde mehr eine südliche Richtung, gegen das Innere des Landes werden sie gerade West- oder Nordwestwinde. Im südlichen Europa haben die nördlichen Winde das Uebergewicht. Im Winter ist die Windesrichtung meist südlicher als durchschnittlich im übrigen Theile des Jahres; im Frühlinge treten oft Ostwinde, im Sommer Westwinde und im Herbste Südwinde ein.

Daß auch die Tageszeit auf die Windesrichtung einen Einfluß ausüben müsse, ist für sich klar, aber noch nicht näher durch Beobachtungen bestimmt. Die Stärke der Winde ist im Winter (Jänner und Februar) am größten; sie hängt auch von der Tageszeit ab, und scheint vom Morgen gegen Mittag zu wachsen und von da wieder abzunehmen.

Man darf nicht vergessen, daß das, was man mittlere Windesrichtung nennt, nur eine durch Rechnung gefundene, nicht wirklich vorhandene Größe sey, etwa wie die mittlere Temperatur oder die Resultirende einer gegebenen Anzahl von Kräften; deßungeachtet ist die Einführung dieser Größe von großem Nutzen. Sie versinnlichet uns gleichsam das Daseyn zweier neben einander befindlichen Ströme, deren einer eine nordöstliche, der andere eine südwestliche Richtung hat, deren Grenzlinie veränderlich ist, und bald jenes, bald dieses Land trifft. Die geringe Erwärmung des atlantischen Oceans während des Sommers verstärkt, die geringe Erkaltung des Oceans im Winter schwächt die westliche Richtung des Windes. Bezeichnet man die Richtung des Südwindes mit 0°, die des Westwindes mit 90°, des Nordwindes mit 180° und des Ostwindes mit 270°; so ist die mittlere Windesrichtung in England 60°, Frankreich und Niederlande 88°, Deutschland 76°, Dänemark 62°, Norwegen 59°, Rußland, Polen und Ungarn 177°. (Meteorologische Untersuchungen von H. W. Dove. Berlin 1837. Beiträge zur Climatologie von Schouw. 1. Heft. Dove in Pogg. Ann. 13. 583. Schübler und Kämtz in Schweigg. J. 52. 257; 55. 135. *Tableau des vents, des marées et des courans etc. par* Romer. *Paris* 1806.)

189. Zwei einander entgegengesetzte, in den oberen Regionen herrschende Winde erzeugen oft jene merkwürdigen, sich nach unten verbreitenden Wirbel, die man Wettersäulen, wenn sie über Wasser erscheinen, Wasserhosen, wenn sie sich über Land zeigen, Sandhosen zu nennen pflegt. Eine solche Wettersäule besteht aus einem hohlen, geraden oder krummen Doppelkegel (Fig. 394), der durch eine seiner Basen mit einer Wolke, durch die andere mit der Erde zusammenhängt, sich um seine Axe dreht und dabei in fortschreitender Bewegung begriffen ist. Der obere Theil besteht aus Wolkenmasse, der untere nach Umständen aus Wasser oder Staub und andern festen Körpern; der größte Durchmesser jedes derselben wechselt von einigen bis zu 5000—6000 Fuß, die Höhe zwischen 30 und 2000 F. Die Farbe einer solchen Wettersäule stimmt mit jener der Wolken überein, und ist meistens grau, dunkelblau, wohl auch dunkelbraun und sogar feuerroth; der mittlere Theil einer Wasserhose ist meist durchsichtig. Die Geschwindigkeit, mit der sie fortschreitet, ist sehr verschieden; man hat solche beobachtet, die in einer Stunde 7—8 Meilen zurücklegten, und wieder andere, denen man leicht zu Fuß folgen konnte. Ihre Bahn ist oft gerade, manchmal auch gebrochen, sogar zickzackförmig, aber immer ist eine bestimmte Richtung vorherrschend, und wie es scheint, jene der herrschenden Winde. Beim Fortrücken hebt und senkt sie sich abwechselnd und dreht sich dabei mit veränderlicher, oft sehr großer Geschwindigkeit um ihre Axe. Die rotirende Bewegung erzeugt eine Fliehkraft und diese bewirkt in der Axe der Kegel eine starke Luftverdünnung, welche die mechanische Kraft dieses Phänomens, die schon vermög der

fortschreitenden Bewegung bedeutend ist, sehr verstärkt. Vermöge dieser Kraft werden Bäume, die ihr in den Weg kommen, entwurzelt, Häuser abgedeckt, umgestürzt oder gar versetzt, schwere Balken mehrere hundert Fuß weit fortgeführt, leichte Körper aber selbst Meilen weit fortgeschafft. Nur von der dabei vorhandenen Luftverdünnung läßt es sich erklären, wie weiche Körper, wie z. B. Linnenzeuge, Schnupftücher rc. in die Ritzen der Wände so eingetrieben werden können, als hätte man sie absichtlich hineingestopft, und wie es möglich wird, daß Fußböden aufgehoben werden. Die dabei vorkommenden elektrischen Erscheinungen, als ein schwefeliger Geruch, Hagel und Blitze, scheinen bloß Wirkungen der Wirbel zu seyn, nicht aber, wie man sonst glaubte, einen elektrischen Ursprung des Phänomens selbst zu begründen. (Demaistre in Schweigg. J. 7. 291. Oersted in Schumacher's Jahrbuch für das Jahr 1840. S. 228)

190. Die Winde, meistens ein Erzeugniß der Temperaturveränderungen, nehmen selbst einen großen Einfluß auf die Temperatur der Luft, so daß jedem Winde an einer bestimmten Stelle der Erde eine bestimmte mittlere Temperatur entspricht, und es also wirklich eine thermische Windrose gibt. Die mehr nördliche Windesrichtung setzt im Sommer die Temperatur herab, die mehr südliche erhöht sie im Winter; im Frühling und Herbst ist dieser Einfluß von geringerer Bedeutung, doch schließt sich der Frühling an den Sommer, der Herbst an den Winter an. Die Temperaturunterschiede der Winde sind nicht das ganze Jahr gleich, sondern nehmen von den kälteren zu den wärmeren Monaten hin ab; derselbe Wind hat auch nicht das ganze Jahr hindurch einerlei thermischen Werth, der NO. ändert sich in dieser Beziehung am meisten, der SW. am wenigsten. Bei OSO. und S. Winden steigt das Thermometer, bei SW. geht es vom Steigen in Fallen über, bei WNW. und N. Winden fällt es, und bei NO. geht es vom Fallen in Steigen über. Der kälteste Wind kommt bei uns durchschnittlich etwas östlich von N., der wärmste etwas westlich von S. Im Winter und Frühling kommt der kälteste Wind mehr von O., der wärmste mehr von W., im Sommer aber liegt der Ort des kältesten Windes westlich von N., der des wärmsten östlich von S. Am merkwürdigsten sind in Bezug ihres Einflusses auf die Temperatur die heißen, trockenen, vielleicht giftigen Winde, welche in südlichen Ländern zeitweilig herrschen, und in verschiedenen Orten verschiedene Namen führen, wie Sirocco, Chamsin, Samum und Harmattan. (Kämtz in Schweigg. J. 30. 145.)

Sirocco heißt in Italien der ermattende, besonders nervenschwächende unangenehm afficirende Südwind. Er erstreckt sich bis nach Tirol und Steiermark. Chamsin, Samum und Harmattan ist ein heißer, erstickender Wind, der in Arabien, Persien, Syrien, Nubien und Aegypten rc. zeitweilig herrscht. In letzteren Ländern heißt er Chamsin (arabisch: fünfzig, weil er fünfzig Tage wehen soll). Rußegger, der ihn selbst beobachtete, sagt, er folge immer auf heitere, windstille, drückend heiße Tage. Beim Eintritte desselben erheben sich dichte schwarze Wolken, denen bald andere feuerrothe folgen, es verbreitet sich ein

strahles, röthlichgelbes Licht, Thiere und Menschen verbergen sich. Bald unterbricht ein dumpfes Rasseln und Knistern die Todtenstille, die Wolken scheinen sich auf die Erde hinzuschieben, und in einem Nu ist man mit Sand und Staub bedeckt. Häufig schließt ein Regen und ein heftiges Gewitter dieses Phänomen. Dieser Wind weht nur in der Regenzeit, und zwar im Anfange derselben, und kommt meist aus SO. Der Samum ist nach diesem Beobachter ein Wind der Wüste; er weht zu verschiedenen Jahreszeiten, aus verschiedenen Weltgegenden, und ist nicht periodisch wie der Chamsin. Er ist ein gewöhnlicher, über den stark erhitzten Boden hinstreichender, viel Staub und Sand mit sich führender Sturmwind.

Fünftes Kapitel.

Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre und Wassermeteore.

191. Es ist aus I. 264 bekannt, daß die Spannkraft oder der Druck der in der Atmosphäre enthaltenen Dünste nicht den Feuchtigkeitszustand der Luft, d. h. die größere oder geringere Neigung derselben, Wasser abzusetzen bedinge, ja daß bei größerem Dunstdrucke sogar eine größere Trockenheit herrschen könne. Der Feuchtigkeitszustand hängt nämlich von dem Verhältnisse der Spannkraft der vorhandenen Dünste zu dem der bestehenden Temperatur entsprechenden Maximum der Spannkraft ab, und erlangt einen desto größeren Werth, je mehr sich die eine dieser Spannkräfte der anderen nähert. Bezüglich des Feuchtigkeitszustandes lehrt nun die Erfahrung, daß derselbe täglich einen größten und kleinsten Werth erlange, und zwar ersteren zur Zeit der kleinsten, letzteren zur Zeit der größten Tagestemperatur. Die tägliche Variation ist im Winter am kleinsten, im Frühling am größten. Im Laufe eines Jahres nimmt der Grad der Feuchtigkeit von seinem größten Werthe, der im Winter eintritt, bis zum Monat April, wo sein Minimum Statt findet, ab, und steigt vom Monat April an wieder allmälig. In verschiedenen Breiten hat die Fenchtigkeit zur selben Zeit verschiedene Werthe; sie nimmt nach Erman vom Aequator bis zur Breite von 20° ab, und von da weiter gegen die Pole hin wieder zu. Nach oben nimmt die Feuchtigkeit nach Umständen bald zu, bald ab, und es ist in dieser Beziehung kein allgemein gültiges Gesetz bekannt.

Der mittlere Feuchtigkeitsgrad auf dem Meere ist in verschiedenen Breiten im Winter und Sommer in P. L., wie nachfolgende Tabelle zeigt:

Geographische Breite . .	0°	10°	20°	30°	40°	50°
Feuchtigkeit im Jahre . .	0,843	0,827	0,796	0,828	0,840	0,865
» im Winter . .	0,843	0,813	0,812	0.847	0,861	0,879
» im Sommer .	0,843	0,841	0,780	0,809	0,819	0,850

Die größte zwischen 0° — 55° Breite, 14 Fuß über dem Meere beobachtete Feuchtigkeit betrug 0.970, der Mittelwerth 0,834. Im atlantischen Ocean beobachtete Erman einige Male im August 1830 zwi-

schen 35° und 37° n. Br. eine Feuchtigkeit von nur 0.532 und im März 1830 bei 45° s. Br. 0,577. In London ist der mittlere Feuchtigkeitsgrad nach Daniell 0,865, in Paris 0,597; in der asiatischen Steppe Platowskaja fand Humboldt nach anhaltendem Südostwinde um 1 Uhr Nachmittags bei einer Lufttemperatur von 23° 7 C. die Feuchtigkeit = 0,17.

192. Die Feuchtigkeit erlangt vielleicht niemals bloß durch fortschreitende Verdunstung den größten Werth, wohl aber sehr oft durch Temperaturveränderung und durch Vermengung feuchter Luftmassen von ungleicher Temperatur. Wird z. B. Luft mit einer Feuchtigkeit von 0.8° und einer Temperatur von 16° C., mithin mit einer Spannkraft der Dünste von 4.766 L. auf 11° C. abgekühlt; so hat sie den größten Feuchtigkeitsgrad überstiegen. Denn einer Temperatur von 11° C. entspricht als Maximum der Dunstspannung 4.587. Wird eine Luftmasse von 20° C. Temperatur und 0.80 Feuchtigkeit also mit einem Dunstdrucke von 7.295 L. mit einer anderen gemengt, deren Temperatur 6° C., deren Feuchtigkeit 0.93, mithin deren Dunstdruck 3.133 beträgt; so resultirt daraus ein Gemenge von 13° Temperatur, in welchem nur Dünste von 5.183 Spannkraft bestehen können. Die mittlere Dunstspannung des Gemenges beträgt aber $\frac{7.295 + 3.133}{2} = 5.214$ und das Gemenge hat demnach den Punct der größten Feuchtigkeit schon überschritten.

193. Sobald die Dünste das Maximum ihrer Dichte überschritten haben, bilden sie kleine Tröpfchen, welche die Luft verdunkeln und trübe machen, weil die auffallenden Lichtstrahlen so häufig eine theilweise Reflexion erfahren. Sie bleiben in der Luft schweben, bis sie eine gewisse Größe erreicht haben, oder in die Nähe hygroskopischer Körper kommen. Sie erhalten sich in der Luft, ungeachtet ihre Dichte jene der Luft vielmal übertrifft, 1) weil sie wegen ihrer feinen Vertheilung eine im Verhältniß zu ihrer Masse zu große Oberfläche haben, und daher nur äußerst langsam sinken können; 2) weil immer wärmere Luftströme aufwärts gehen und dem Fallen der Wassertheile entgegenwirken; 3) weil sie durch die vielen Reflexionen, welche ein Sonnenstrahl erleidet, der die mit so vielen Kügelchen geschwängerte Luft trifft, der Luft die Durchsichtigkeit benehmen, und eben deßhalb bewirken, daß die Luftschichte, welche sie enthält, mehr von der Sonne erwärmt wird, als die reine durchsichtige Luft, und daher auch ein geringeres specifisches Gewicht erlangt, in die Höhe zu steigen sucht, und die Dunstkügelchen zu fallen hindert. Vergrößern sich die Wasserkügelchen, so fallen sie doch herab, und erzeugen die bekannten, wässerigen Lufterscheinungen, Thau, Reif, Nebel, Wolken, Regen, Schnee und Hagel.

194. Der Thau erscheint als ein wässeriger Beschlag an der Oberfläche der Körper im Freien. Ueber sein Entstehen verdanken wir Wells die meiste Aufklärung. Seinen Erfahrungen gemäß zeigt sich der Thau nach einem heitern Tage zwar schon Abends im beschatteten

Grase, aber erst nach Sonnenuntergang entsteht er reichlich und vermehrt sich die ganze Nacht hindurch. Die Menge des gefallenen Thaues beträgt in heiteren, windstillen Nächten am meisten, eine geringe Bewölkung mindert ihn, ein dicker Ueberzug des Himmels verhindert sein Entstehen ganz. Er fällt reichlicher nach heißen Tagen und bei feuchter Luft, als wenn die Wärme und Feuchtigkeit der Luft gering war, und überhaupt nach Mitternacht mehr als vor Mitternacht. Er überzieht bei übrigens gleichen Umständen jene Körper, die dem freien Himmel ausgesetzt sind, mehr als zugedeckte, in der Luft hängende mehr als auf dem Boden liegende, und Körper mit rauhen Oberflächen in größerer Menge als solche, deren Oberfläche glatt ist. Ueber den letzteren Punct hat vorzüglich Harvey viele interessante Beobachtungen angestellt. Zu diesen Erfahrungen fügte Wells noch die wichtige Entdeckung, daß jene Körper, die bethaut werden, immer eine geringere Temperatur haben, als die sie umgebende Luft, und daß mit diesem Unterschiede der Temperatur die Menge der Bethauung zunehme. Dieses läßt keinen Zweifel übrig, daß das Entstehen des Thaues auf folgendem Hergange der Sache beruhe: Das Ausstrahlen der Wärme bewirkt an den Körpern, welche dem freien, heiteren Himmel ausgesetzt sind, eine Verminderung der Temperatur, diese entziehen der angrenzenden Luftschichte Wärme und machen, daß ihre Dünste das Maximum der Expansivkraft überschreiten, in tropfbaren Zustand übergehen, und sich so an die nahen Körper absetzen. Man kann die Menge des in einer gegebenen Zeit als Thau abgesetzten Wassers bestimmen, wenn man ein metallenes Gefäß mit blankem Boden dem freien Himmel aussetzt, und es vor und nach dem Bethauen abwiegt. Flaugerques fand so, daß das im Jahre 1823 abgesetzte Thauwasser zu Viviers den Boden auf drei Linien bedecken würde, wenn es sich ansammeln könnte. (*Bibl. univ. avril. An assay on Dew and several appearances connected with it. by W. Wells. London* 1815.) Wenn die Temperatur der Luft während der Nacht unter den Gefrierpunct sinkt, so friert der Thau und erscheint als Reif an Körpern. Man sieht leicht ein, daß ein Reif entstehen kann, selbst wenn die Temperatur der Luft ober dem Gefrierpuncte steht. Mehlthau, Honigthau sind normalwidrige, von Pflanzen austretende Säfte und kein atmosphärischer Niederschlag.

Aus dem Vorhergehenden erklärt man sich leicht: Warum der Thau und Reif im Frühling und Herbst so reichlich fällt; warum es in der Nähe großer Wässer und überhaupt in wasserreichen Gegenden so stark thaut: warum Niederungen so oft vom Reife heimgesucht werden, während höhere Gegenden, wohin sich die warmen und daher leichteren Luftschichten erheben, nur bethaut werden; warum man Gewächse durch eine geringe Decke, z. B. durch Reisig, Rauch vor Reif schützen kann; warum der Thau bei Aufgang der Sonne wieder verschwindet ꝛc.

195. Wasser, das klein zertheilt in der Luft schwimmt und sie trübt, bildet Nebel und Wolken. Beide unterscheiden sich von einander nur durch ihre Höhe. Eine Wolke ist ein hochschwebender

Nebel, der Nebel ist eine auf der Erde aufliegende Wolke; man kann daher beide mit dem allgemeinen Namen einer Wolke belegen. Davon überzeugt man sich, wenn man einen in Wolken gehüllten Berg besteigt, denn da trifft man in der Wolkenregion Nebel an. Die Wolken schweben keineswegs ruhig in der Luft, sondern nehmen an den Bewegungen derselben Theil, schreiten nach verschiedenen Weltgegenden fort, heben und senken sich. Daß die eigentlichen Wolken bald höher bald tiefer schweben, erkennt man daraus, daß sie die Gipfel der Berge bald umhüllen, bald sie dem Auge frei geben. Man meint, nur die feinsten Wölkchen haben eine Höhe von einer Meile und darüber; über dem atlantischen Ocean und stillen Meere haben Messungen die Höhe der Wolken zwischen 900 und 1400 Meter angegeben. Die Regen- und Gewitterwolken ziehen meistens sehr tief, weil sie dichter und daher schwerer sind, als die übrigen, heben sich aber wieder, wenn sie einen Theil ihres Wassers durch Regen, Schnee 2c. verloren haben. Im Sommer schweben die Wolken höher als im Winter, und in der heißen Zone höher als bei uns. In der kalten reichen sie fast immer bis zum Boden herab und bilden jene Nebel, die den Schifffahrern so lästig sind. Das Treiben der Wolken geschieht mit großer Geschwindigkeit, und nach einer Richtung, welche oft der des Windes in den unteren Regionen ganz entgegengesetzt ist. Die Farbe der Wolken steht mit ihrer Dichte in Verbindung. Sehr dichte Wolken absorbiren das Licht völlig und erscheinen daher dunkel, dünnere lassen es zum Theile durch und reflectiren es zum Theile, sind daher mehr oder weniger weiß. Die der Sonne näheren und daher intensiver beleuchteten Wolken gewähren nicht selten ein herrliches Farbenspiel. Die Ausdehnung nach Länge und Breite ist bei einzelnen Wolken sehr verschieden, jedoch erscheinen uns unter allen die Gewitterwolken am ausgedehntesten. Wenn auch manchmal der ganze Himmel bewölkt erscheint, so ist dieses die Folge mehrerer sehr nahe stehender Wolken, deren es gewöhnlich sogar mehrere Schichten über einander gibt. Uebrigens hängt die scheinbare Ausdehnung einer Wolke, wie die eines jeden andern sichtbaren Gegenstandes, von ihrer Entfernung und von der Lage des Auges gegen ihren Ort ab. Die höchsten Wolken erscheinen immer wie Fasern und Streifchen, sind aber wahrscheinlich nicht minder ausgedehnt, als die uns so nahen Regenwolken; die gegen uns schief stehenden Wolken erscheinen lang und schmal, wiewohl ihre Ausdehnung nach allen Richtungen gleichmäßig seyn kann, weil sie nach ihrer Breite gesehen verjüngt erscheinen. Die Dicke der Wolken läßt sich nur bei jenen bestimmen, die um Berge Gürtel bilden. Peytier und Hassard fanden so eine Wolke 450—850 Meter dick. Das Anhäufen der Wolken am Horizont zu einer Zeit, wo sich um das Zenith herum nur wenige Wölkchen zeigen, beruht auf einer optischen Täuschung. Manchmal vergrößert sich eine Wolke sehr schnell, nicht selten vermindert sich eine eben so eilig. Daran mag vielleicht die Elektricität einen Antheil haben; indeß sieht man auch wohl ein, daß sich auch in dem Falle eine Wolke vergrößern müsse, wenn sie durch den

Wind in feuchte Luftschichten von geringerer Temperatur getrieben wird. Die Vergrößerung der Wolken ist nicht selten mit einem Steigen der Temperatur verbunden, weil Wolken der Erde die ausstrahlende Wärme zurücksenden. Das Verschwinden oder Abnehmen einer Wolke wird daraus begreiflich, daß sie durch den Wind über Gegenden geführt wird, von denen warme oder trockene Luft hoch aufsteigt, oder daß diese ihr selbst vom Winde zugeführt wird. Hieraus sieht man auch ein, wie Winde die Wolken zerstreuen können.

196. Ueber die Gestalt der Wolken verdanken wir dem Engländer Howard die meiste Aufklärung. Er fand, daß alle Wolken unter drei Hauptformen und vier abgeleiteten Formen erscheinen. Die Hauptformen sind: Die Federwolke (cirrus), die Haufenwolke (cumulus) und die Schichtwolke (stratus). Die abgeleiteten sind: Die federige Haufenwolke (cirro-cumulus), die federige Schichtwolke (cirro-stratus), die geschichtete Haufenwolke (cumulo-stratus) und die gehäufte federige Schichtwolke oder Regenwolke (nimbus).

197. Die Federwolke (Fig. 395) besteht aus zarten, parallel laufenden oder verwirrten, manchmal baum- oder lockenartig verzweigten Fasern. Sie ist nach anhaltend schönem Wetter die erste, welche das Blau des Himmels bleicht, zeigt sich bei trockener Witterung mehr faserig, bei feuchter und bevorstehendem Regen mehr verwaschen, sie hat meistens eine Höhe von mehr als einer halben Meile, und dürfte wohl nur aus Schneetheilen bestehen. Die Federwolke geht häufig durch Verdichtung in die federige Schicht- oder Haufenwolke über. Die federige Haufenwolke (Fig. 396) besteht aus kleinen, weißen, meist runden, in Reihen geordneten Wölkchen, die man Schäfchen zu nennen pflegt. Sie erscheinen vorzüglich groß und gut begrenzt am Abende warmer Sommertage, und können nach anhaltend nasser Witterung für Vorboten einer besseren Zeit angesehen werden. Die federige Schichtwolke (Fig. 397) charakterisirt sich durch Mangel an Dichte, durch ihre große Ausbreitung im Verhältniß gegen die Menge ihrer Substanz und durch die Veränderlichkeit ihrer Gestalt. Sie erscheint in der Höhe als eine große Menge zarter Wölkchen, hat aber, wenn sie am Horizont steht, wo man ihren verticalen Durchschnitt sieht, das Aussehen weit ausgedehnter Schichten. Oft überzieht sie den ganzen Himmel oder einen bedeutenden Theil desselben wie mit einem weißen Schleier. Diese Wolkenart ist es auch, welche, wenn sie am westlichen Himmel bei Sonnenuntergang steht, und dünn genug ist, das herrliche Farbenspiel der Abendröthe gibt, wenn sie aber dichter ist, einen trüben Sonnenuntergang verursacht, und einem anhaltenden, aber sanften Landregen vorhergeht. Die Schichtwolke (Fig. 398) ist eigentlich das, was man Nebel nennt, nämlich eine wie Wasser ausgedehnte, die Erde berührende Wolke. Sie entsteht häufig an Tagen, deren Temperatur gegen die der Nacht stark absticht. Nach Sonnenuntergang lagert sie sich besonders häufig über tiefe Gewässer, verschwindet manchmal gänzlich, indem sie wie

54 *

ein feiner Thau herabfällt, steigt nicht selten in die Höhe und geht in eine Haufenwolke über. Ueber den Polarmeeren verweilen den ganzen Sommer hindurch dichte Nebel, die in eine Höhe von 150—200 Fuß reichen. Im Jahre 1783 überzog ein solcher Nebel, den man Höhenrauch nennt, fast das ganze Jahr hindurch die meisten Gegenden Europa's, und stand wahrscheinlich mit den in diesem Jahre so häufigen unterirdischen Revolutionen in Verbindung. Die Entstehung der Schichtwolke läßt sich genügend auf folgende Weise erklären: Sobald in einer Gegend die Sonne untergegangen ist, wird der Erde für die ausstrahlende Wärme, besonders wenn die Luft ruhig und der Himmel heiter ist, kein Ersatz zu Theil, es nimmt daher ihre Temperatur ab. Am festen Lande beschränkt sich diese Abkühlung immer auf die Oberfläche oder erstreckt sich doch nur in sehr geringe Tiefe, im Wasser hingegen, dessen Temperatur über 3° R. ist, sinken die abgekühlten Theile der Oberfläche zu Boden, wärmere treten an ihre Stelle und werden auf gleiche Weise wieder abgekühlt, nur unter 3° R. ist die oberste zugleich die kälteste Schichte; es erstreckt sich daher die Abkühlung auf die ganze Wassermasse. Ist nun diese hinreichend groß, und hat sie während des Tages eine Temperatur, welche der Temperatur der Luft gleich oder nur wenig geringer, jedoch über 3° R. ist; so muß in einer heiteren und ruhigen Nacht ihre Temperatur an der Oberfläche höher seyn, als die des angrenzenden festen Landes, und eben daher muß auch die Luft über dem Wasser wärmer seyn als über dem Lande, und mehr Dünste enthalten; zugleich muß aber auch die Landluft beständig gegen das Wasser hinströmen, die daselbst befindliche Luft abkühlen, und so den Nebel erzeugen. Die Menge desselben muß sich nach der Tiefe und nach der Temperatur des Wassers richten. Diese Erklärung hat man durch Beobachtungen an vielen Flüssen Deutschlands und Italiens bestätigt gefunden. Auch der Umstand ist dieser Erklärung günstig, daß nach Harvey's Erfahrungen (*Journ. of sc. Nr.* 29) die Temperatur einer Nebelschichte in der Mitte geringer ist, als oben und unten. Da das feste Land in der Regel häufig mit größeren oder kleineren Wasserbehältern oder feuchten Stellen wechselt, so ist wohl begreiflich, wie sich oft ein Nebel weit über eine Gegend verbreiten kann. Er kann aber auch sein Entstehen der unmittelbaren Erkältung der Luft verdanken. Die Haufenwolke (Fig. 399) zeichnet sich durch ihre halbkugelförmige Gestalt mit genau horizontaler Grundfläche aus. Sie entsteht, wie die Federwolke, bei ganz heiterem Himmel als ein kleines unregelmäßiges Wölkchen, das allmälig zu einer bedeutenden Größe anwächst, die kleineren, herum befindlichen gleichsam aufnimmt und sich so zu einem Wolkenberge vergrößert. Sehr merkwürdig ist es, daß diese Wolken häufig an heiteren Tagen Morgens entstehen, bis zur größten Tageshitze wachsen, am Abende wieder verschwinden und ein reines Firmament zurücklassen. Die Ursache dieser Erscheinung liegt wahrscheinlich in der mit der Wärme zunehmenden Menge der Dünste, die mit der erwärmten Luft aufsteigen, in kältere Regionen kommen, und dort zu Wolken

werden. Diese senken sich wieder, sobald das Aufsteigen der wärmeren Luftströme ein Ende erreicht hat, kommen dabei in wärmere Regionen, und gehen wieder in Dunst über. Mit dieser Ansicht steht die Erfahrung in gutem Einklange, daß die mittlere Wärmeabnahme der Luft nach oben schneller erfolgt als die Abnahme des Thaupunctes, indem die Lufttemperatur schon in einer Höhe von 400—500 F., der Thaupunct aber erst in einer Höhe von 700 F. um 1° C. abnimmt. Nicht selten verliert die Haufenwolke ihre halbkugelförmige Gestalt, nimmt nach oben unregelmäßig zu, wird dichter, hängt in Flocken über ihre Grundfläche herunter, und bildet so die geschichtete Haufenwolke (Fig. 400). Wenn sich bei dem periodischen Entstehen und Verschwinden der Haufenwolke eine große Neigung derselben zeigt, in die geschichtete Haufenwolke überzugehen, hat man immer Regen zu befürchten.

198. Der Uebergang der jetzt beschriebenen Wolkenarten in die regnende Wolke ist mit merkwürdigen Erscheinungen begleitet: Die in niederen Luftschichten hinschwebende Haufenwolke hält in ihrem Fortgange inne, vergrößert sich durch Aufnahme der über ihr befindlichen Federwolken, und verwandelt sich so in eine geschichtete Haufenwolke, die oben in lockige Fasern sich endiget, immer dunkler wird, und endlich Regen herabschüttet.

199. Der Regen ist eine Folge der Vergrößerung der einzelnen Wassertropfen, welche die Wolken bilden, und kann durch mannigfaltige Umstände herbeigeführt werden, wie z. B. dadurch, daß die Temperatur der Wolke fortwährend vermindert und so immer fort Dunst zersetzt wird, denn dadurch kommen sich die einzelnen Wassertröpfchen näher und fließen in größere zusammen; ferner durch einen Wind, der eine Wolke an ein mechanisches Hinderniß antreibt. Dadurch entstehen jene furchtbaren Regengüsse, die den Gebirgsländern so gefährlich sind und Wolkenbrüche heißen. Dieser Wirkung der Winde ist keineswegs die allgemein bekannte Erfahrung entgegen, daß ein starker Wind in den unteren Regionen den Regen hindere; denn es ist hier immer vom oberen Winde die Rede, an dem es selten fehlt; der untere hingegen zerstreut die kleinen, herabfallenden Tropfen, und bewirkt, daß sie wieder verdünsten, bevor sie die Erde treffen. Daher kommt auch das Fallen einzelner Tropfen bei windigem Wetter. Uebrigens können wenige Wassertröpfchen, die sich nicht mehr in der Luft erhalten können, einen gewaltigen Regen herbeiführen, weil sie beim Sinken auf andere treffen und sich mit ihnen zu einer größeren Masse vereinigen.

200. Die Regentropfen sind in den oberen Regionen sehr klein, vergrößern sich aber allmälig im Herabfallen durch Wasser, welches sie durch ihre Erkältung aus der Luft ausscheiden. Darum sind auch die Regentropfen bei uns viel geringer im Durchmesser als in der heißen Zone, wo die Wolken wegen der größeren Luftwärme viel höher stehen. Oft sollen sie unter dem Aequator einen Zoll im Durchmesser haben, während sie bei uns selten mehr als einige Linien dick sind. Wegen des Widerstandes der Luft erlangen sie keine große Geschwindigkeit.

201. Die Regenmenge ist nach Zeit und Ort verschieden. In der Regel beträgt die in einem Jahre gefallene Regenmenge desto mehr, je höher die mittlere Jahrestemperatur, mithin je größer das Maß der Ausdünstung ist; sie ist daher am Aequator größer als bei uns, und nimmt mit wachsender geographischer Breite ab. Höher gelegene Orte sollen reichlichere Regen haben, als tiefere (Kast. Arch. 6. 225), aber in derselben Verticalen ist die Regenmenge oben geringer als unten, wahrscheinlich, weil sich die kalten Regentropfen beim Fallen durch neuen Wasserniederschlag vergrößern. Uebrigens haben auf die jährliche Regenmenge auch der Zug der Gebirge, die Winde, welche Luftschichten von verschiedener Temperatur mit einander mengen, und andere Localitäten großen Einfluß. Offenbar muß es an jenem Abhange der Gebirge, den die Regenwolken zuerst erreichen, auch mehr regnen als an dem, worüber die Regenwolken erst schweben, wenn sie schon einen Theil ihres Wassergehaltes abgegeben haben. Da Regenwolken meistens aus Süd oder West kommen, so ist es begreiflich, daß im südlichen Deutschland und in Ungarn (dießseits der Alpen) verhältnißmäßig weniger Regen fällt, als in der Lombardie und überhaupt jenseits der Alpen. Selbst die Vertheilung des jährlichen Regens auf die einzelnen Monate und Jahreszeiten ist an verschiedenen Orten verschieden. In der heißen Zone ist der ganze in einem Jahre fallende Regen auf die Regenzeit concentrirt, und tritt beim höchsten Sonnenstande ein, wo die starken aufsteigenden Luftströme den größten Zufluß von kälteren Gegenden nothwendig machen. In größeren Breitengraden der tropischen Zone, nämlich an den äußersten Grenzen der Passatwinde, erzeugen die herabsinkenden Aequatorialströme die Winterregen. Je mehr man sich von der tropischen Zone entfernt, desto mehr vertheilt sich der Regen in das ganze Jahr, aber selbst da treten deutlich zwei Regenzeiten hervor, und rücken immer mehr aus einander, je mehr man die Grenzen der Tropen verläßt, bis dieselben in einer großen Breite wieder in ein Regenmaximum, das in den Sommer fällt, zusammen fallen. Man mißt die Regenmenge mittelst eines regelmäßigen, zum Auffangen und Messen des Regenwassers bestimmten Gefäßes, Regenmesser, Ombrometer, worunter das von Horner angegebene besonders sinnreich ist. (Schweigg. J. 52. 26.)

Nach Anderson geben die Zahlen 73, 69, 59, 47, 35, 25, 19, 14, 12, 11, 5 die Regenmenge unter dem Aequator (Breite 0°) und in den Breiten von 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90° an; sie drücken nämlich aus, wie viel Zoll hoch das in einem Jahre fallende Regenwasser die Erde decken würde, wenn es sich ansammelte. An der Küste von Malabar ($11\frac{1}{2}$° n. Br.) fallen jährlich 116 Z., in Havana 85″.4, in Bombay 73″.5, in Macao 63″. Im südlichen Theile der großen Ebene Norditaliens, am Fuße der Apenninen, beträgt die jährliche Regenmenge nirgends über 32 P. Z.; am südlichen Abhange der Apenninen hingegen beläuft sie sich auf 42 — 43 Z. Am südlichen Abhange der Alpen, in der Ebene der Lombardie und des venetianischen Königreichs fallen jährlich 54 — 55 Z., hie und da gar 80 — 90 Z. Wasser, in der Mitte der Ebene aber nur 36 — 37 Z. Der Sommerregen beträgt zu Bologna $\frac{1}{2}$, zu Pisa $\frac{1}{4}$, zu Rom $\frac{1}{8}$ vom Herbstregen, und zu Bo-

logna und Pisa ½, zu Rom nahe ⅓, zu Palermo ⅛, zu Lissabon 1/13 — 1/14 des Winterregens. Im gemäßigten Klima fallen bei einem mittleren Feuchtigkeitsgrade von 40° jährlich im Durchschnitte 20 — 30″ Regen. In Cayenne fielen im Februar 151″, in der Mission St. Antonio de Javita am Orinoco, wo es oft 5 Monate ununterbrochen regnet, in 5 St. 21‴, und ein anderes Mal gar in 3 St. 14‴, im Bombay während den 12 ersten Tagen der Regenzeit 32″. Genf hat zweimal so viel Regen als Paris, Petersburg so viel wie Wien. In York fand man, daß sich die Regenmengen an drei Stationen, deren eine 29 F., die andere 72,8″, die dritte 231′ 10½″ über dem Spiegel der See lag, im Jahre 1832 — 1833 wie die Zahlen 661 : 853 : 1000, im Jahre 1833 — 1834 wie die Zahlen 582 : 772 : 1000 verhalten. In einzelnen Jahren wechselt die Regenmenge sehr stark. Die mittlere jährliche Regenmenge in Wien beträgt 16 P. Z. Im Jahre 1833 fielen aber nur 13,5 Z., im J. 1834 nur 10 Z., im J. 1835 aber 17,3 Z., im J. 1836 16 Z., im J. 1837 15,9 Z., im J. 1838 endlich 18,7 Z. Regen. Im südlichen Europa fällt das Maximum des Regens auf den Frühling und Herbst, in Deutschland auf den Sommer. Nach Kämtz ist an der Westküste Europa's die Regenmenge im Winter (December bis Februar) eben so groß, wie in den Sommermonaten; aber je weiter man ins Innere des Continents kommt, desto vorherrschender werden die Sommerregen (Dove in Pogg. Ann. 35. 375.)

202. Das Regenwasser ist besonders in den Monaten März und April rein, weil da wegen der geringeren Luftwärme noch keine fremdartigen Substanzen mit den Dünsten in die Luft geführt werden, enthält aber selbst in diesen Monaten kohlensaures Ammoniak, und verdankt diesem seine von destillirtem Wasser so verschiedene Beschaffenheit, die sogenannte Weichheit; in warmen Sommertagen hat es viele andere fremdartigen Substanzen beigemischt. Substanzen, wie z. B. Samenstaub, die durch Winde in die Luft geführt werden, fallen mit dem Regen wieder herab und erzeugen bei unwissenden Leuten die Meinung von Schwefel-, Blutregen u. s. w. Dieselbe Bewandtniß hat es mit dem Regen der Thiere, z. B. der Frösche, die bei trockener Zeit im Straßenstaube begraben liegen und nach einem Regen wieder erwachen, wohl auch vom Winde fortgeführt worden seyn können.

Zimmermann, der dem Meteorwasser eine große Aufmerksamkeit widmete, fand das specifische Gewicht desselben bei 14° R. gleich 1,00010 — 1,00130, und will deutliche Spuren von Kalk, Talk, Kali, Eisen, Mangan, Salzsäure, Kohlensäure und organischem Stoffe darin entdeckt haben. Nach Brandes enthielt das an einem Orte im Jahre 1825 aufgefangene Regenwasser 2,57 Gran festen Stoff (Schweigg. J. 43. 153). Nach Liebig erhält man, wenn man frisch aufgefangenes Regenwasser in einer Porcellanschale mit Zusatz von etwas Schwefelsäure oder Salzsäure bis nahe zur Trockenheit abdampft, immer Salmiak oder schwefelsaures Ammoniak. (Dessen org. Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. Braunschweig 1840. S. 71.)

203. Wiewohl die Regenwolken in der Regel niedriger schweben als andere, so befinden sie sich doch meistens in der Region des ewigen Schnees. Gehen daher die Dünste in tropfbaren Zustand über, so

werden sie auch bald zu Eis, thauen aber beim Herabfallen wieder auf, wenn die untere Luft eine hohe Temperatur hat, widrigenfalls fallen sie aber in Gestalt von Flocken herab, und geben den Schnee. Das Regenwasser ist daher meistens Schneewasser. Thauet der Schnee während des Falles nicht ganz auf, sondern sintert nur zusammen, wie dieses im Frühling und Herbst oft geschieht, so entsteht dadurch der Graupenregen. Man erklärt es sich hieraus, warum es in niederen Gegenden regnet, wenn es auf hohen Bergen schneiet, warum sich im Winter der Schnee bis an die Meeresfläche herab erstreckt, warum es in heißen Gegenden gar nicht schneiet

204. Wenn der Schnee nicht sehr dicht fällt, erkennt man schon mit freiem Auge, daß er aus kleinen Sternchen besteht, die meistens sechseckig sind; fällt er aber dicht, so hängen sich mehrere solche Gestalten an einander, und bilden dann die großen Flocken, an denen man ein Gewebe aus feinen Nadeln erkennt. Fig. 401 zeigt mehrere Schneeflocken im vergrößerten Zustande. Der Vermischung der Schneeflocken mit Luft verdankt der Schnee seine starke Licht reflectirende Kraft und die blendend weiße Farbe; beigemischte, meistens vegetabilische Substanzen färben ihn aber nicht selten merklich roth; man fand ihn öfters auch schon leuchtend.

Folgende Tabelle gibt die Höhe an, zu welcher das Luftwasser jährlich steigen würde, wenn es nicht wieder verdünstete oder eingesaugt und zersetzt würde.

Zu Abo	27,54	P. Zoll.	Zu Mannheim . .	20,6	P. Zoll.
» Algier . . .	25,32	—	» Maranhao . .	26,0	—
» Augsburg . .	35,9	—	» Middelburg .	31,8	—
» Bergen . . .	73,0	—	» Padua . . .	37,5	—
» Berlin . . .	19,3	—	» Paris . . .	20,0	—
» Bombay . .	72—106	—	» Pisa	34,5	—
» Delft . . .	26,1	—	» Plymouth . .	29,1	—
» Domingo . .	11,3	—	» Rom	29,3	—
» Dordrecht . .	38,6	—	» Straßburg . .	25,9	—
» Edinburgh . .	21,6	—	» St. Petersburg	16,0	—
» Freiburg . .	28,4	—	» Stuttgart . .	23,9	—
» Göttingen . .	34,7	—	» Tübingen . .	25,0	—
» Haag . . .	26,6	—	» Ulm	25,5	—
» Harderwyk .	26,1	—	» Upmünster . .	27,7	—
» Harlem . . .	23,2	—	» Upsala . . .	22,0	—
» Hohenheim .	24,6	—	» Utrecht . . .	23,18	—
» Karlsruhe . .	25,5	—	» Venedig . .	33,92	—
» Kendal . . .	60,5	—	Wälder des Orinoco und Rio Negro . . .	90—100	—
» Lancaster . .	38,5	—	Zu Wien	16,0	—
» Leiden . . .	28,34	—	» Wittenberg .	16,0	—
» Lund	17,39	—	» Zürch . . .	32,0	—
» Lyon	37,0	—			
» Madeira . .	29,1	—			

Siehe Hube über die Ausdünstung und ihre Wirkungen in der Atmosphäre. Leipzig 1790. Untersuchungen über die Wolken und andere Erscheinungen in der Atmosphäre von T. Forster. Leipzig 1819. Beiträge zur Witterungskunde von Brandes. Leipzig 1820.

Sechstes Kapitel.

Elektrometeore.

205. Sobald man die erstaunlichen Wirkungen der künstlich erregten Elektricität erkannt hatte, mußte ihre Aehnlichkeit mit denen, welche der Blitz hervorbringt, auf die Vermuthung leiten, daß auch in der Atmosphäre freie Elektricität walte, und daß die Erscheinungen eines Gewitters von elektrischen Entladungen herrühren. Man fand bald Mittel, diese Vermuthung durch Beobachtungen zur Gewißheit zu erheben. Indem man nämlich einen papierenen, mit einem metallenen Stifte versehenen Drachen aufsteigen ließ, und ihn an einer seidenen Schnur hielt, die mit feinem Metalldraht umwunden war, bemerkte man am Ende der Schnur Zeichen von elektrischer Anziehung und Abstoßung, wohl gar stechende Funken, wie aus einer Leidnerflasche. Heut zu Tage herrscht über das Daseyn der Elektricität in der Atmosphäre gar kein Zweifel mehr. Man kann sich von ihrem Daseyn theils mittelst isolirter, an hohen Stangen angebrachter Drähte, theils mittelst eines Drachen, vorzüglich leicht aber mittelst einer etwa 1—2 Klafter langen Stange überzeugen, deren isolirtes, mit einem glühenden Schwamme versehenes Ende mit einem empfindlichen Elektroskope oder mit einem Multiplicator, dessen ein Drahtende bis zur Erde reicht, in Verbindung steht.

206. Man findet bei jeder Witterung Spuren von atmosphärischer Elektricität. Die allgemeinen Resultate, welche sich aus den Untersuchungen über die Luftelektricität ergeben haben, sind folgende: Bei heiterer Luft ist die Elektricität stets positiv und im Allgemeinen im Winter stärker als im Sommer, bei ruhigem Wetter stärker als während eines Windes. Ihre Intensität wächst von unten nach oben, und ändert sich mit der Jahres- und Tageszeit. Sie erreicht täglich zweimal ihr Maximum und eben so oft ihr Minimum. Nach Schübler fängt sie mit Sonnenaufgang an zu wachsen, und erreicht einige Stunden darnach ihr erstes Maximum, von da an nimmt sie wieder ab, und erlangt 1—2 Stunden vor Sonnenuntergang ein Minimum; steigt aber wieder von da an schnell, und erreicht einige Stunden nach Sonnenuntergang ihr zweites Maximum. Von diesem Augenblicke an fällt sie die ganze Nacht hindurch, bis sie mit aufgehender Sonne abermals zu steigen beginnt. Im Sommer tritt das erste Maximum am frühesten, im Winter am spätesten ein, während das zweite Maximum in Sommertagen am spätesten, in Wintertagen am frühesten Statt hat. Nach Clarke (*Phil. Mag. March.* 1840. *p.* 226) ist das Steigen und Fallen der Luftelektricität das Resultat der Verdunstung und nimmt mit der absoluten Dunstmenge ab und zu. Bei ruhiger, heiterer Luft sind die Variationen der Elektricität größer als bei trüber, und überhaupt im Mittel im Sommer fast doppelt so groß als im Winter. Dichte Wolken, Nebel und naßkalte Witterung stören überhaupt den regelmäßigen Gang der Elektricität völlig. Das aus der

Luft fallende Wasser ist fast immer, besonders im Sommer, elektrisch, selbst die in der Nähe von Wasserfällen in der Luft schwebenden Wassertropfen sind stark positiv elektrisch. Bei Nordwinden ist die Luftelektricität am häufigsten positiv, bei Südwinden am häufigsten negativ elektrisch; die östlichen Winde haben mehr die Eigenschaft der nördlichen, die westlichen mehr die der südlichen Winde; doch sind überhaupt negative Niederschläge häufiger als positive. Starke Platzregen und Gewitterregen liefern mehr Elektricität als sanfte Landregen. Wolken sind fast immer negativ elektrisch. Daher mag es kommen, daß die Luftelektricität oft so sehr wechselt. Volta beobachtete in einer Minute einen 14maligen Wechsel der Elektricität. Hagel und Schnee sind fast immer elektrisch, der Nebel verliert oft vor seinem Falle die Elektricität. Die Quelle der Luftelektricität mag wohl mannigfaltig seyn, allein seit Pouillet gezeigt hat, daß beim Ausscheiden der im Wasser aufgelösten Salze, während der Verdünstung des Wassers und bei der Vegetation, Elektricität frei werde, und Clarke den Zusammenhang der Schwankungen der Dunstmenge mit jener der Luftelektricität nachgewiesen hat, muß man wohl in der Verdunstung die Hauptquelle der atmosphärischen Elektricität suchen. Nach Pouillet liefert eine Flur von 25 Q. Klafter in einem Tage mehr positive Elektricität, als man zum Laden der stärksten Batterie bracht.

207. Als eine Folge der Anhäufung der Elektricität in der Luft ist das Leuchten der Spitzen an Thürmen, Masten der Schiffe u. s. w., welches man Eliasfeuer, St. Helena nennt, anzusehen, und eines der erhabensten Meteore, nämlich das Gewitter, dessen wesentliche Erscheinungen Donner und Blitz sind. Gewitter erfolgen in der Regel nur an windstillen Tagen und in der warmen Jahreszeit, und zwar aus folgenden Ursachen: 1) ist im Sommer die Verdünstung und die Menge aufsteigender Dünste, welche Elektricität mit sich führen, am größten, und der Vegetationsprozeß geht am lebhaftesten vor sich. 2) Schweben die Wolken im Sommer höher, und theilen deßhalb der Erde ihre Elektricität nicht so leicht mit. 3) Sind die Nächte, wo die Luft am meisten feucht ist und der Erde Luftelektricität zuleitet, in dieser Zeit am kürzesten; und 4) bewirken die Sonnenstrahlen in den Wolken leichter eine Verdünstung und daher eine neue Anhäufung der Elektricität. Der Juli ist der gewitterreichste Monat. Wintergewitter sind nichts Unerhörtes, aber doch eine Seltenheit. In der Regel wird ein Ort desto öfter von Gewittern heimgesucht, je höher seine mittlere Temperatur ist. An einigen Orten der heißen Zone findet in der heißen Jahreszeit regelmäßig alle Tage ein Gewitter Statt. Mit wachsender geogr. Breite nimmt die Häufigkeit der Gewitter ab, und doch hat man selbst in einer nördl. Breite von 75° noch Gewitter beobachtet. (Baer in Pogg. Ann. 48. 601.) Von einer Weltgegend kommen mehr Gewitter als von den übrigen. In Wien ist meistens die Südwestseite die Wetterseite.

Nach Gronau ergibt sich aus 20jährigen Beobachtungen zu Berlin die jedem Monate entsprechende mittlere Anzahl der Gewitter, wie folgt:

Jänner 14, Februar 18, März 26, April 132, Mai 293, Juni 453, Juli 496, August 413, September 160, October 22, November 12, December 13. Nach Kämtz sind die Gewitter in höheren Breiten nach Procenten ihrer Anzahl so auf die einzelnen Jahreszeiten, Winter (W.), Frühling (F.), Sommer (S.), Herbst (H.) vertheilt: Westliches Europa W. 8,9, F. 17,7, S. 52,2, H. 20,9; Schweiz W. 6,4, F. 20,6, S. 69,0, H. 10,0; Deutschland W. 1,4, F. 24,4, S. 66,0, H. 8.2; inneres Europa W. 0, F. 15,7, S. 79,3, H. 5,0. Nach Arago ereignen sich durchschnittlich im Jahre zu Calcutta 60, zu Rio Janeiro 50,7, zu Kairo 3,5, Buenos Ayres 22,6, Abissynien 38 Gewitter.

208. Vor einem Gewitter häufen sich die Wolken an einer Region besonders stark an und nehmen an Dichte so zu, daß sie stellenweise ein völlig schwarzes Aussehen bekommen, sie gewinnen eine meistens abgerundete Gestalt, zeigen starke Abstufungen der Beleuchtung, und schweben meistens nicht sehr hoch (am Abhange der Pyrenäen fand man die untere Fläche einiger Gewitterwolken 3000 — 3300 Meter hoch, in Paris waren die niedrigsten 1000 — 2400 Meter, in Tobolsk 214 — 800 Meter hoch). An ihrer inneren Fläche hängen flockige graue Nebel, die Luft wird schwül, sehr elektrisch, und die Luftelektricität geht schnell vom Positiven ins Negative über und umgekehrt; es erfolgt eine feierliche Stille, welche jeden Laut, der sie unterbricht, verstärkt, hierauf folgen heftige Stürme, die von der Gewitterwolke aus nach allen Richtungen blasen, in wirbelnder Bewegung Staub aufjagen und dem Zuge der Wetterwolke folgen. Bald erleuchten Blitze, vom Donner verfolgt, den Himmel, bei jedem Schlage sieht man bedeutende Bewegungen in den Wolken, und fast immer folgen ihnen Regengüsse, nicht selten auch Hagel. Nach dem Regen nimmt die Heftigkeit des Gewitters ab, weil die Elektricität abgeleitet wird; die Gewitterwolke wird fortgetrieben, und zwar manchmal mit einer Geschwindigkeit, die oft 8 — 24 Meilen in einer Stunde beträgt, aber nicht nach der Richtung, nach welcher der untere Wind weht, sondern oft sogar nach einer ganz entgegengesetzten Richtung; oft zertheilt sich die Wolke und die Luft erhält eine erfrischende Kühle, wenn nicht wieder ein neues Gewitter im Anzuge ist. Oft endet das Gewitter mit einer gleichförmigen Vertheilung der Wolken über den ganzen Himmel.

209. Der Blitz ist ein elektrischer Funke, der wie jener aus dem Conductor großer Elektrisirmaschinen, zwischen zwei Wolken oder einer Wolke und der Erde Statt findet. Im letzteren Falle sagen wir, er schlage ein. Der Weg, den der Blitz nimmt, seine Farbe, seine Wirkungen auf irdische Gegenstände, z. B. die gewaltige Erschütterung, das Durchbohren und Zertrümmern schlechter Leiter, das Schmelzen und Oxydiren der Metalle, das Verglasen der Erden, das besonders in sandigen Gegenden Statt findet und die sogenannten Blitzröhren (Gilb. Ann. 55. 121. Ribbentrop über Blitzröhren. Braunschweig 1830) erzeugt; das Entzünden brennbarer Substanzen, das Tödten der Thiere, sind genau so, wie sie sich von einem so verstärkten, elektrischen Funken erwarten lassen, und wie man sie mittelst einer Elektrisirmaschine in sehr verjüngtem Maßstabe hervor-

bringt. Die Blitze zerfallen nach Arago in drei Classen: in zickzackförmige mit scharf begrenzten Rändern; in solche, die größere Wolkentheile erleuchten, als wenn sich der Himmel öffnete; und endlich Blitze in Form von Feuerkugeln. Flackernde Blitze scheinen aus einzelnen von einander getrennten Entladungen zu bestehen. (Dove in Pogg. Ann. 35. 279.)

210. Der Donner ist der heftige Knall, welchen der elektrische Funke erzeugt, wenn er die Luft durchbricht. Sein Rollen entsteht theils aus der Reflexion des Schalles durch Wolken, Berge u. s. w, theils aus der ungleichen Entfernung der Theile des Weges, den der Blitz nimmt, von uns. In der Regel ist der Donner, welcher den einschlagenden Blitz begleitet, mehr prasselnd, der, welcher von einer Wolke zur anderen fährt, mehr rollend; im letzteren Falle kann man auch, nach Bellani's Bemerkung, den aus der Wolke hervorbrechenden Blitz wohl vom matten Lichte unterscheiden, das sich gleich darauf durch die ganze Wolke erstreckt. Blitze, die sehr weit entfernt und nur von schwachen Donnerschlägen begleitet sind, erscheinen ohne Donner. Oft sind solche auch bloß reflectirte Blitze eines unter dem Horizonte befindlichen starken Gewitters. Doch scheint es auch wirkliche Donner ohne Blitz zu geben, sie sind durch glaubwürdige Beobachter constatirt. (Reichenbach in Zeitschr. 10. 74, Ayrer in Pogg. Ann. 48. 375.)

211. Der Umstand, daß der Blitz sich nach denselben Gesetzen richtet, welche dem gemeinen elektrischen Funken den Weg vorschreiben, brachte Franklin auf die Erfindung der Blitzableiter. Diese sind eiserne, starke ($^1/_4$ W. Z. im Durchschnitte), an einem Ende zugespitzte und zur Verhütung des Rostens vergoldete oder mit einer Platinspitze versehene Stangen, die auf einem Gebäude so errichtet werden, daß sie 3—4 Fuß über die höchsten Theile desselben hervorragen. Da sich die Wirksamkeit einer solchen Stange, nach Charles, auf einen Umkreis erstreckt, dessen Halbmesser der doppelten Höhe der Stange gleicht, so müssen größere Gebäude mit mehreren solchen Stangen versehen werden. Alle werden mit einander leitend verbunden und mittelst eisernen Stangen oder Kupferstreifen, oder nach Yelin, mittelst Messingdräthen in die Erde hinabgeleitet. Jede größere Metallmasse eines Gebäudes soll in leitender Verbindung mit dem Ableitungsapparate stehen, weil der herabfahrende Blitz in einer solchen einen secundären elektrischen Strom (II. 390) erzeugt, der ohne Ableitung so schädlich werden kann, wie der Blitz selbst. Bei einer guten Einrichtung dieser Stangen wird ein Gebäude vor Blitzschlägen hinreichend gesichert seyn, jedoch kann ein Blitz vom Ableiter abspringen, wenn er so stark ist, daß ihn der Conductor nicht fassen kann, oder wenn er das Metall schmilzt, oder endlich, wenn er in die Nähe einer Metallmasse kommt, die durch Induction elektrisirt ist und nicht mit der Ableitungsstange in Verbindung steht. Dasselbe kann auch erfolgen, wenn häufiger Regen das Gewitter begleitet, welcher als natürlicher und höherer Ableiter wirkt. Selbst im letzteren Falle wird nicht viel zu be-

fürchten seyn, weil ein solcher Blitz in der Regel nicht zündet, indem ihn die Nässe des Daches selbst ableitet. Strohseile kann nur der als Ableiter empfehlen, dem die Gesetze der Elektricität fremd sind. Ueberhaupt darf man, um die Wirkung eines Blitzableiters von der rechten Seite zu betrachten, nicht vergessen, daß ein Ableiter nur in so ferne wirkt, als er durch Induction elektrisch geworden ist und die mit der Luftelektricität gleichnamige Elektricität in die Erde abgegeben hat. Darum ist eine genaue Verbindung des ganzen Apparates mit der Erde so wesentlich. Ja, wenn diese nicht Statt findet und ein Gebäude durch eine darüber hin ziehende Gewitterwolke durch Induction elektrisirt ist, so werden sich beide Elektricitäten desselben nach Abzug dieser Wolke mächtig zu vereinigen suchen, einen secundären Strom erzeugen, und auf die Körper, die dieser Vereinigung im Wege stehen, wie ein Blitzschlag wirken. Man nennt dieses Phänomen den Rückschlag. (Siehe: Raimarus Vorschriften zur Anlegung einer Blitzableitung an allerlei Gebäuden. Hamburg 1778. Ueber die Blitzableiter, ihre Vereinfachung und die Verminderung ihrer Kosten von Dr. Plieninger. Stuttgart 1835. Anweisung zur Errichtung der Blitzableiter in Frankreich. Pogg. Ann. 1. 403. Ueber Gewitter. Arago in seinem *Annuaire pour l'an* 1838, *p.* 221.)

Die Kenntniß der Gesetze der künstlich erzeugten Elektricität gibt schon die Regeln an die Hand, durch die man sich am besten vor Blitzschlagen bewahret. Sie laufen im Allgemeinen darauf hinaus, daß man die Nähe guter Leiter möglichst meide. Deßhalb soll man sich im Freien unter keinen Baum flüchten, nicht der höchste Gegenstand der Umgebung zu seyn suchen, keine gar starke Bewegung machen, damit die Ausdünstung nicht zu sehr erhöht werde, nicht zu nahe an Häusern gehen, sondern lieber die Mitte einer Straße suchen, sich im Zimmer von Fenstergittern, Glockenzügen, ja sogar von den Mauern entfernen und lieber die Mitte eines Gemaches einnehmen, die Nähe rauchender Kamine meiden und möglichst dunstfreie Orte suchen u. s. w.

212. Gewitter sind auch häufig von Hagel begleitet. Dieser besteht aus Eiskörnern von verschiedener Größe (1 Linie bis 6 Zoll im Durchmesser), die von außen eine dichte, durchsichtige Eisrinde, im Innern einen undurchsichtigen Kern aus Schnee, oft gar aus einer heterogenen Masse haben. Er fällt in einigen Gegenden viel öfter als in anderen, kommt zu allen Tageszeiten, am Tage und bei Nacht, doch in letzterer seltener vor; man hat ihn bei allen Temperaturen über und unter 0° beobachtet, doch scheint er nur der gemäßigten Zone eigen zu seyn, indem ein Hagelfall in den Tropenländern, unter 350 T. Höhe, zu den größten Seltenheiten gehört, und auch in den Polargegenden nicht oft vorkommt. Er fällt in der Regel nur im Sommer. Die Wolken, welche ihn führen, sind tief, aufgedunsen, an den Rändern zerrissen, und haben an ihrer Oberfläche unregelmäßige Hervorragungen. Ihre Höhe über der Erde ist meistens nur 400 Fuß; doch hat man auch sehr hohe Hagelwolken beobachtet.

213. Ueber die Entstehung des Hagels haben sehr verdiente Ge-

lehrte, wie z. B. Volta, v. Buch, Lichtenberg rc. ihre Ansichten an den Tag gelegt, ohne daß einer derselben sich eines allgemeinen Beifalls zu erfreuen hätte. Beim Hagel kommt es vorzüglich darauf an, zu erklären, wie bei der größten Sommerhitze so große Eismassen entstehen können. Zu diesem Behufe nimmt Volta an, daß im Sommer die Wolken sehr hoch steigen und in sehr trockene Luftschichten kommen. Bescheint sie nun die Sonne, so entstehen an ihrer oberen Fläche Dünste, die in die Höhe steigen, aber dabei in kältere Luftschichten gelangen, und dort wieder zu einer Wolke verdichtet werden. Diese zwei über einander schwebenden Wolken müssen entgegengesetzte Elektricität haben, und zwar die untere — Elektricität, die obere + Elektricität; die in der unteren Wolke angefachte Verdünstung bindet Wärme, und bringt die Wassertheile in derselben zum Gefrieren. Die so entstandenen Eisstücke werden zwischen den zwei elektrischen Wolken abwechselnd angezogen und abgestoßen, wie leichte Körper beim elektrischen Tanze, und dadurch allmälig vergrößert, bis sie die Elektricität der Wolken nicht mehr erhalten kann, wo sie dann herabfallen. Gegen diese Ansicht spricht aber, daß nach Gay-Lussac's Versuchen bei einer Temperatur über 8° C. selbst in trockener, geschweige erst in der gewöhnlichen, Dünste enthaltenden Luft, durch Verdünstung keine so große Kälte erzeugt werden kann, wie sie zur Hagelbildung Noth thut, daß noch Niemand, so viele sich auch in Hagelwolken befanden, das Oscilliren der Hagelkörner beobachten konnte (Lecoc beobachtete aber, als er sich selbst in den Wolken befand, eine rasche Rotationsbewegung der Hagelkörner), daß niemals Hagelkörner unter hoch gelegenen Felsenvorsprüngen, Bäumen rc., wohin sie doch bei ihrem Hin- und Herhüpfen gelangen müßten, gefunden wurden, daß selbst der elektrische Tanz, dem das Oscilliren der Hagelkörner ähnlich seyn soll, zwischen einer Metallplatte und einer Wasserfläche nicht vor sich geht rc. Nach v. Buch entsteht an Stellen, wo sich die Erde sehr stark erhitzt, ein aufsteigender Luftstrom, der die feuchte Luft zu einer solchen Höhe emporführt, daß schon beim Aufsteigen, und noch mehr in der obersten Stelle sehr viel Wasser daraus ausgeschieden wird, das in Tropfen herabfällt, verdünstet, gefriert, durch neuen Dunstniederschlag aus der Umgebung vermehrt wird, wieder gefriert, und so Hagelkörner bildet. Auch mit dieser Ansicht steht die Wärmebindung beim Verdunsten nicht im Einklange, indem beim gewöhnlichen Feuchtigkeitszustande der Luft durch Verdünstung keine solche Kälte entstehen kann; auch sieht man daraus nicht ein, warum Hagel stets nur bei Gewitterausbrüchen Statt findet; man begreift nicht, wie sich beim Herabfallen der Anfangs gewiß nur kleinen Hagelkörner so große, als sie bereits beobachtet worden sind (zu Mastricht fielen am 3. August 1827 Eisstücke von 6 Z. Durchmesser, in Padua am 26. August 1835 Stücke von 17 Centimeter Durchmesser, zu Clermont im Juli 1835 ellipsoidische Körner von der Größe eines Hühnereies), bilden können; wie ein Hagelfall möglich sey, der sich über ganze Länder erstreckt (Arago erwähnt eines solchen Falles, der sich durch ganz Frankreich bis nach

Holland erstreckte) ꝛc. Man muß demnach die Bildung des Hagels zu den bis jetzt unerklärten Phänomenen zählen.

Es ist leicht einzusehen, daß es Hagelableiter nicht in dem Sinne geben könne, wie Blitzableiter. Eiserne, im Freien aufgerichtete Stangen, die man als solche empfahl, können die Elektricität an so hoch schwebenden Wolken nicht ableiten, wie die sind, worin sich der Hagel bildet, und daher selbst nach Volta's Ansicht auch nicht die Bildung desselben hindern; ist er aber bereits gebildet, so können sie ihn höchstens durch Einsaugen der Elektricität zum Fallen bringen, und daher mehr zu- als ableiten. Sollte aber, gegen unsere theoretische Einsicht, ihre Wirkung so groß seyn, als man hie und da behauptet; so bleibt es unbegreiflich, daß Bäume oder Blitzableiter nicht auch zugleich Hagelableiter seyn sollten. Daß sie aber dieses nicht sind, lehrt die Erfahrung alljährlich, indem beholzte Gegenden und große, mit vielen Blitzableitern versehene Gebäude eben so gut vom Hagel getroffen werden, wie das flache Land mit seiner niederen Vegetation.

214. Zu den elektrischen Erscheinungen wird auch das Nordlicht gezählt. Dieses zeigt sich bisweilen in der Nordgegend des Himmels als eine dunkle Wolke in Gestalt eines kreisförmigen, vom Horizont begrenzten Segmentes, dessen Mittelpunct im magnetischen Meridiane zu liegen scheint, und das mit einem hellen Ringe umgeben ist, aus welchem von Zeit zu Zeit häufige Lichtbüschel von verschiedenen Farben nach allen Richtungen ausfahren, sich manchmal bis zum Zenith erstrecken, daselbst eine Art Krone bilden, deren Mittelpunct in der verlängerten Axe einer frei schwebenden Magnetnadel gegen Süden hin zu liegen scheint. Einige besonders starke Nordlichter sollen auch ein Geräusch verbreitet haben, wie das ist, welches ein Luftzug verursacht, doch wird dieses von Einigen gänzlich geläugnet. Fig. 402 stellt ein Nordlicht vor. Man sieht es in den Ländern von größerer Breite häufiger und schöner als bei uns, ja wir sehen nur jene Nordlichter, die hoch genug aufsteigen, um über unseren Horizont zu kommen. Aber auch nicht jede Gegend von großer geogr. Breite ist dem Erscheinen der Nordlichter gleich günstig. Nach Einigen sollen in Sibirien und in Nordamerika mehr Nordlichter sichtbar seyn, als im nördlichen Europa. An demselben Orte ist manches Jahr reicher an Nordlichtern als ein anderes, vielleicht befolgen sie eine bestimmte Periode. Eine ähnliche Erscheinung findet man auch am Südpole, und nennt sie Südlicht. Zur Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung haben Halley, Euler, Mairan, Franklin, Hell, Lichtenberg, Dalton, Biot, Hansteen das Ihrige beigetragen, ohne doch eine genügende Theorie zu geben. Man kann nur bis jetzt mit Gewißheit Folgendes sagen: Weil das Nordlicht nicht wie die Sterne eine tägliche Bewegung von Ost nach West zeigt, so muß es an der Axendrehung der Erde Theil nehmen und daher in der Atmosphäre seinen Sitz haben. Die größte Höhe eines Nordlichtes soll 25000 Meter seyn. Es afficirt, der Erfahrung gemäß, häufig, aber nicht immer die Magnetnadel, und ändert ihre Abweichung, indem es ihr Nordende abstoßt, wirkt aber auf nicht magnetische, z. B. kupferne Nadeln, gar nicht, hat

dabei mit dem Ausströmen der Elektricität viele Aehnlichkeit, und läßt sich nach Thienemann gerade da am häufigsten sehen, wo die wenigsten Gewitter Statt finden. Es muß demnach die Elektricität einen Antheil an seiner Erscheinung haben. Doch hat man während eines Nordlichtes keine ungewöhnliche Stärke der Luftelektricität wahrnehmen können. Wichtig ist Hansteen's Erfahrung, daß kurz vor dem Eintritte eines Nordlichtes der Erdmagnetismus eine ungewöhnliche Stärke hat, die aber gleich nach dem Beginne des Nordlichtes abnimmt und unter die gewöhnliche Stärke herabsinkt. Aus allem diesen geht hervor, daß das Nordlicht in einer elektrischen Entladung bestehe, über deren nähere Natur erst weitere Beobachtungen die nöthige Aufklärung geben müssen. (Zeitschr. 7. 242; 8. 110; 9. 212.)

Siebentes Kapitel.

Lichtmeteore.

215. Es gibt viele Meteore, die ihr Entstehen ganz den Modificationen des Lichtes beim Durchgange desselben durch die Luft verdanken. Die vorzüglichsten derselben sind: 1) die Gestalt und Farbe des Firmamentes, 2) die Morgen- und Abendröthe, 3) das Funkeln der Sterne, 4) das sogenannte Wasserziehen der Sonne, 5) die astronomische Strahlenbrechung und Luftspiegelung, 6) Höfe um die Sonne, den Mond und um die Fixsterne; 7) Nebensonnen und Nebenmonde, 8) Regenbogen, 9) das Zodiakallicht.

216. Die atmosphärische Luft ist zwar keineswegs vollkommen durchsichtig; doch ist ihre Durchsichtigkeit so groß, daß sie uns erst in Schichten von sehr bedeutender Dicke sichtbar wird. Zur Beurtheilung der Entfernung der sichtbaren Luftschichten haben wir kein anderes Hilfsmittel, als die verschiedene Intensität der von ihnen in unser Auge gelangenden Strahlen. Da nun diese Intensität in der Regel rings um uns in gleicher Höhe gleich groß, nahe am Zenith aber größer ist, als tiefer abwärts; so scheint die sichtbare Luftmasse unsere Erde wie eine am Zenith etwas eingedrückte Kugel zu umspannen. Daß sie uns blau erscheint, vermögen wir freilich nicht weiter zu erklären, als daß wir sagen, es liege in der Natureinrichtung, daß von den durch die Erde der Luft zugesendeten Strahlen gerade die blauen vorzugsweise reflectirt werden. Wiewohl die Luft zu den durchsichtigsten Körpern in der Natur gehört, so wird doch ihre Durchsichtigkeit durch mehrere Umstände, vorzüglich durch beigemengte Stoffe und durch Wärmewechsel, bedeutend abgeändert, und darum wechselt die Farbe des Himmels vom intensivsten Blau durch alle Abstufungen desselben bis zum blassesten und zur gänzlichen Undurchsichtigkeit. Beigemengtes expansibles Wasser macht die Luft durchsichtiger und erhöht daher den Ton ihrer blauen Farbe, aus demselben Grunde, aus welchem Papier durch

Oelen durchsichtiger wird (S. 615); daher auch ein sehr dunkelblauer Himmel auf die Gegenwart vieler Dünste schließen läßt. So wie aber diese Dünste ihre Ausdehnsamkeit verlieren, machen sie den Himmel blasser, und können ihm seine Durchsichtigkeit ganz benehmen. Andere nicht ausdehnsame, in der Luft befindliche Stoffe, wie z. B. der sogenannte Sonnenstaub, wirken wie fein zertheiltes Wasser. Beim Sehen durch Fernröhre, bei Versuchen mit Brennspiegeln rc. überzeugt man sich von Aenderungen der Durchsichtigkeit der Luft, die man mit freiem Auge gar nicht wahrnimmt. Sie rühren wahrscheinlich von der ungleichen Vertheilung der Wärme in der Luft, und vom Wechsel ungleich warmer Luftschichten her, die wie heterogene Mittel auf das Licht wirken. Man hat zur Bestimmung der Bläue des Firmamentes eigene Instrumente, Cyanometer. Der Grund dieser unvollkommenen Durchsichtigkeit der Luft liegt gewiß darin, daß sie kein stetiges Gemenge von ungleichartigen Körpern ist; denn ein Lichtstrahl wird nothwendig bei jedem Uebergange von einem Theilchen in den leeren Raum zum Theile reflectirt. Dieses zeigt sich vorzüglich dadurch, daß die Bläue des Firmamentes desto dunkler ist, je mehr sich Wasserdünste (nicht fein zertheiltes Wasser) in der Luft befinden, mithin je stetiger das Gemenge ist. Auf hohen Bergen fand Saussure die Luft völlig dunkelblau, und selbst in der Ebene erscheint sie uns nach einem Regen, besonders an der der Sonne gegenüberstehenden, heiteren Seite, von einem sehr gesättigten Blau, das gegen die Sonne hin immer blasser wird und zuletzt völlig in Weiß übergeht.

Saussure's Cyanometer besteht aus einer in 51 Felder eingetheilten Platte, deren Farbe vom lichtesten bis zum dunkelsten Blau wechselt. Man erhält sie durch Vermischung des Blau mit Weiß oder Schwarz in verschiedenen, bestimmten Verhältnissen. Die Zahl des Feldes, dessen Blau mit dem des Himmels übereinstimmt, gibt den Grad der Bläue des letzteren an. Kämtz hat ein anderes Cyanometer angegeben (dessen Vorlesungen über Meteorologie. Halle 1840. S. 489). Holger's Zeitschr. 1. 201. Leslie bestimmt die Durchsichtigkeit des Raumes durch ein Differenzialthermometer, das eine vergoldete Kugel hat, und mit der anderen im Brennpuncte eines parabolischen Hohlspiegels steht. Diese Kugel erkaltet desto mehr, je heller der Himmel ist. Er nennt dieses Instrument Aethrioskop.

217. Wenn der westliche Himmel heiter oder nur mit einem dünnen Wolkenschleier überzogen ist, so ziert ihn nach Sonnenuntergang die herrliche Naturerscheinung, die Abendröthe, deren Farbe nach der verschiedenen Reinheit des Firmamentes von Gelb und Hellroth bis zum Dunkelroth wechselt. Wenn nämlich die Sonne dem Untergange ziemlich nahe ist, und leichte Wolken am Horizont stehen, so erscheinen dieselben im Osten roth. So wie die Sonne tiefer sinkt, färben sich auch noch die westlichen dünnen Wolken mit dem Abendroth, und die ganze Abendgegend erscheint orange, dichtere, niederschwebende Wolken sind mit herrlichem Purpur bekleidet, während höhere noch weiß erscheinen. Nach Sonnenuntergang sieht man, wenn am Tage das Firmament schön blau war, ein zartes Roth am Himmelsgewölbe, und im

Osten, der Sonne gegenüber, einen dunklen, bogenförmigen Raum mit tieferem Blau, über diesem einen röthlichen, und noch höher hinauf einen weißen Bogen. Ueber diesem erscheint das gewöhnliche Blau des Firmamentes, das gegen Westen hin in mancherlei Abstufungen in die Farbe der Abendröthe übergeht. Alle diese Erscheinungen treten mehr und weniger deutlich hervor, und ihre größere oder kleinere Entwicklung hängt von der Stellung der Wolken, von der Durchsichtigkeit der Luft, und selbst von den am westlichen Horizont befindlichen irdischen Gegenständen ab. Am Morgen zeigt sich vor Sonnenaufgang unter ähnlichen Bedingungen an der Ostseite dieselbe Erscheinung, und heißt **Morgenröthe**. Dieses Phänomen hat man aber sehr zu erklären gesucht und die mannigfaltigsten Hypothesen zu diesem Ende ausgesonnen; am wahrscheinlichsten rührt es von dem Umstande her, daß Wasserdunst in einem besonderen Stadium seiner Zersetzung im durchgelassenen Lichte gelblich roth erscheint, und das Licht der auf= oder untergehenden Sonne gerade solche Dunstschichten durchfahren muß. (Forbes in Pogg. Ann. 47. 593; Ergänzungsband 1. 49.)

218. Weil die Dünste das Licht stärker brechen, als die reine Luft, so müssen sie, wenn sie vom Winde hin und her bewegt werden, eine Erscheinung an den Gestirnen hervorbringen, welche dem Flackern einer vom Winde bewegten Flamme ähnlich ist. Geschieht dieses sehr schnell, so erscheinen die Sterne auch größer und heller. Es ist bekannt, daß man das Stattfinden dieser Erscheinung für einen Vorboten nasser Witterung ansieht. Aus der starken lichtbrechenden Kraft der feuchten Luft erklärt sich auch die auffallende, scheinbare Nähe sonst ferner Gegenstände.

219. Wenn die Sonne hinter einem Gewölke steht, das nahe daran ist, Regen herabzuschütten, durch einige Oeffnungen desselben hindurchscheint und die Luft beleuchtet; so reflectiren die Wassertröpfchen das Licht, und es erscheinen Streifen, die lichter sind, als ihr Grund. Diese Streifen scheinen gegen die Sonne hin zu convergiren und sich hinter der Wolke zu vereinigen, als wenn sich dort die Sonne befände. Dieses Phänomen, welches unter dem Namen **Wasserziehen** der Sonne bekannt ist, verkündet baldigen Regen. Es erscheint im Sommer öfter als im Winter, und bei niederem Sonnenstande öfter als bei hohem. Seltener ereignet es sich, daß man Strahlen sieht, die von einem der Sonne gerade entgegengesetzten Puncte des Firmamentes auszufahren scheinen, aber immer viel schwächer sind, als die vorhin besprochenen. Sie beruhen auf demselben Grunde, wie jene. Die von der Sonne ausgehenden, nach der entgegengesetzten Gegend des Firmamentes hinfahrenden Strahlen werden durch Reflexion in den Dünsten der unteren Luftregion eben so sichtbar, wie ein Lichtstrahl in einem dunkeln Zimmer durch Reflexion in den feinen, in der Luft schwebenden Stäubchen, und wiewohl diese Strahlen parallel sind, so scheinen sie doch durch optische Täuschung gegen die fernsten Stellen zu convergiren, gerade so wie eine parallele Baumreihe gegen das von uns entfernteste Ende zu convergiren scheint.

220. Wenn das Licht in die Atmosphäre eintritt, so erleidet es eine Brechung zum Einfallslothe; dasselbe erfolgt, so oft es von dünnerer in dichtere Luft übergeht. Darum muß ein Lichtstrahl, der durch die ganze Atmosphäre zu uns gelangt, eine nach oben convexe Bahn beschreiben, die desto mehr gekrümmt ist, je länger der in der Atmosphäre zurückgelegte Weg des Lichtes ist. Die Wirkung dieser Krümmung der Bahn eines Lichtstrahles ist, daß jeder Punct, der einen solchen Strahl in unser Auge abwärts sendet, höher zu liegen scheint. Am Horizont ist diese Wirkung am größten und am unregelmäßigsten; je näher dem Zenithe, desto kleiner und regelmäßiger erscheint sie, bis sie im Zenithe selbst ganz verschwindet. Die Kenntniß dieser Strahlenbrechung, die man, wenn die Strahlen von irdischen Objecten kommen, irdische, wenn sie von Himmelskörpern kommen, astronomische Strahlenbrechung nennt, ist bei der Bestimmung des Ortes eines entfernten Körpers von großer Wichtigkeit. Vermöge derselben geht die Sonne früher auf und später unter, so daß dadurch der längste Tag bei uns nahe um 8,5 M., in den Polargegenden um 1 Monat verlängert wird. Die Strahlenbrechung beträgt nahe am Horizont 30 M., in einer Höhe von 45° kaum 1 M., in einer Höhe von 75° nahe 16 Sec.; in mäßiger Entfernung vom Zenith ist sie der Tangente des Abstandwinkels proportional.

221. Die Brechung des Lichtes in der Luft erfolgt zwar in der Regel so, daß ein horizontal oder abwärts fahrender Strahl eine nach oben convexe Bahn einschlägt, weil die Luft in der Regel oben dünner ist, als unten; allein es gibt doch Fälle, wo wegen der höheren Temperatur der unteren Luftschichten das Gegentheil Statt findet, und ein aufwärts fahrender Strahl wieder abwärts gekrümmt wird. Dadurch können von den Gegenständen, die unter dem Horizonte liegen, Strahlen ins Auge gelangen und selbe sichtbar machen; es können auch diese sowohl, als auch die über dem Horizonte gelegenen Dinge doppelt, verkehrt, verschoben, in der Luft schwebend erscheinen, wie Fig. 403 zeigt. Alle diese Phänomene ereignen sich nur in großen (wenigstens 2 Stunden langen) Ebenen, und sind unter dem Namen der Luftspiegelung, Seegesicht, Kimmung bekannt. Es sey AB (Fig. 404) ein Gegenstand, der sich unter dem Horizonte OH des Auges O befindet. Werden die Strahlen, welche von AB ausgehen, so gebrochen, daß sie die Krümmung AO und BO bekommen, so erscheint AB ober OH in ab. Werden die Strahlen, welche sonst über dem Auge vorbeigegangen wären, in dasselbe abgelenkt, so kann nebst ab auch noch ein zweites Bild a′b′ erscheinen, das sogar verkehrt seyn kann, wenn der untere Strahl eine mehr convexe Linie beschreibt, als der obere.

222. Bei feuchter Witterung sieht man nicht selten den Himmel mit einem dünnen Wolkenschleier überzogen, und die Sonne, den Mond oder auch Fixsterne der größeren Art mit einem Ringe umgeben, der lichter ist, als der übrige Theil des Firmamentes, und Hof heißt. Dieser zeigt sich oft mit Regenbogenfarben. Man unterscheidet aber zweier-

lei Höfe, kleinere mit dem Körper, den sie umgeben, zusammenhängende, die, falls sie gefärbt erscheinen, nach außen roth sind und bald einen größeren, bald kleineren Durchmesser haben, und größere, vom Centralkörper ziemlich weit abstehende (Ringe), bei denen die rothe Farbe nach innen gekehrt ist und deren Durchmesser gegen 45° beträgt; bei letzteren hat man auch oft einen zweiten Farbenring in doppelt so großer Entfernung vom leuchtenden Körper wahrgenommen. Fig. 405 zeigt dieses Phänomen. Die Höfe hat Huyghens aus der Brechung des Lichtes in gefrornen Dunstkügelchen, die einen undurchsichtigen Kern haben, Mayer aus der Brechung in Dunstbläschen zu erklären gesucht. Die naturgemäßeste Erklärung hat Fraunhofer geliefert. Er erklärt die kleineren Höfe aus einer Beugung der Lichtstrahlen, die an den Rändern der in der Atmosphäre schwebenden Dunstkügelchen vorbeifahren, beweiset, daß diese Beugung gerade so vor sich gehe, als wenn das Licht durch eine Oeffnung von einem dem Kügelchen gleichen Durchmesser geleitet würde, und überzeugte sich, daß man im Gesichtsfelde eines achromatischen Fernrohres einem Hofe der kleineren Art völlig ähnliche Farbenringe sieht, wenn man vor dem Objectivglase sehr viele, ungemein kleine Glaskügelchen von beinahe gleicher Größe anbringt, und durch eine runde Oeffnung einen starken Lichtstrahl darauf leitet. Diese Ringe sind desto größer, je kleiner die Glaskügelchen sind. Es stellen nun die kleinen Scheibchen in Fig. 406 Dunstkügelchen vor, auf welche von der Sonne oder dem Monde S directe parallele Strahlen auffallen, die am Rande jedes einzelnen Kügelchens gebeugt werden, und nach der Beugung unter verschiedenen Winkeln ausfahren. Gesetzt, es fahren die vom Kügelchen b gebeugten so aus, daß rothe Strahlen, welche den ersten Ring bilden, ins Auge O gelangen, so werden die rothen des zweiten und dritten Ringes das Auge verfehlen, und den Weg bf, bg einschlagen. Dafür können vom Kügelchen a die rothen des zweiten Ringes nach O gelangen. Auf ähnliche Weise geschieht es mit den Strahlen von anderen Farben. Sind nun die Dunstkügelchen im ganzen Raume nach allen Richtungen zerstreut, so sieht das Auge Farbenringe um S, wovon der erste rothe in einem Abstande bOS, der zweite rothe in einem Abstande aOS vom leuchtenden Körper erscheint. Haben die Dunstkügelchen beinahe einerlei Größe, so haben alle homogenen Ringe einerlei Durchmesser, sie fallen auf einander und verstärken den Eindruck jedes einzelnen; haben sie aber eine verschiedene Größe, so fallen die Ringe von verschiedener Farbe an denselben Platz, die Farben werden matter oder verschwinden ganz, so daß nur ein heller Ring um den leuchtenden Körper übrig bleibt. Sind die Dunstkügelchen groß, so werden die Farbenringe sehr klein, und können um größere und heller leuchtende Gestirne nicht mehr gesehen werden, theils weil des größeren Durchmessers wegen die Farben in einander fallen, theils weil ihr Licht in so großer Nähe beim leuchtenden Körper verschwindet. In diesem Falle können aber noch um Fixsterne Höfe erscheinen. Man begreift wohl, daß man in einem sehr feuchten Zimmer um ein Kerzenlicht einen Hof

wahrnehmen kann, und daß der Mond und die Sonne durch ein stark mit Dünsten beschlagenes Fenster mit einem Hofe erscheinen muß, während man im Freien dieses nicht bemerkt. Die größeren Höfe (Ringe) erklärt Fraunhofer aus der Brechung des Lichtes in Eiskrystallen aus sechsseitigen oder dreiseitigen Prismen. Er zeigt, daß sie nicht durch Beugung oder Brechung und Reflexionen in Dunstkügelchen oder Dunstbläschen abgeleitet werden können, bestimmt aus seiner Formel den Durchmesser der größeren Höfe, der mit dem durch die Erfahrung gegebenen sehr wohl übereinstimmt. Haben die Eisprismen eine pyramidale Zuspitzung, so lassen sich aus einer Brechung des Lichtes in denselben auch die zweiten größeren Höfe, ja durch Reflexion des in ein solches Prisma einfallenden Lichtes im Inneren desselben, sogar ein dritter, wie ihn Hevel gesehen haben will, vollständig, dem Maße nach erklären. (Dove in Pogg. Ann. 26. 310. Galle in Pogg. Ann. 49. 1.)

223. Manchmal sieht man bei trüber Luft und kalter Witterung nebst der wahren Sonne oder dem wahren Monde noch mehrere andere, die man Nebensonnen und Nebenmonde nennt. Sie befinden sich im Umfange eines weißlichen, horizontalen Ringes (Nebensonnenkreises), dessen Breite dem scheinbaren Durchmesser des Gestirnes gleicht, und der selbst von farbigen Höfen, die das Gestirn umgeben, durchschnitten wird. Die Nebensonnen und Nebenmonde stehen in dem Durchschnitte des obigen Ringes und der Höfe, haben nicht selten vom Gestirne abgewendete, weiße, lange Schweife, und sind auch manchmal mit dem wahren Gestirne durch ein lichtes Kreuz verbunden. (Fig. 407.) Das innerhalb des kleineren Hofes befindliche Stück des Nebensonnenkreises erscheint immer matter als der übrige Theil desselben. Man bemerkte auch schon Nebensonnen in einer verticalen, lichten, dem Durchmesser des gerade aufgehenden Gestirnes an Breite gleichen Säule. Selten zeigt sich das Phänomen der Nebensonnen in seiner ganzen Vollständigkeit, wo es aus wenigstens dreizehn Ringen oder Ringtheilen besteht, in deren Durchschnittspuncten die Nebensonnen erscheinen.

224. Die Nebensonnen und Nebenmonde, nebst den sie begleitenden Phänomenen, hat zuerst Huyghens, und in unserer Zeit Fraunhofer zu erklären gesucht, und wiewohl diese beiden Gelehrten von sehr verschiedenen Gesichtspuncten ausgingen, so genügen doch beide Erklärungen der Erfahrung, und es muß erst die Zukunft hierüber näher entscheiden. Huyghens nimmt an, es bilden sich in den Wolken sechsseitige Eisprismen, die bei ihrem Herabsinken eine solche Lage annehmen, daß sie den kleinsten Widerstand erfahren, und diesem gemäß nehmen die Axen der längeren Prismen (Eisnadeln) eine verticale, jene der kürzeren (Tafeln) eine horizontale Lage an. Die verticalen Seitenflächen der ersteren und die Grundflächen der letzteren stellen eben so viele verticale Planspiegel vor, welche dem Auge des Beobachters vom leuchtenden Körper Licht zusenden, und ihm von demselben ein Bild gewähren, welches mit ihm gleich hoch steht und einen Winkelab-

stand hat, der dem doppelten Einfallswinkel des Lichtes, von der Spiegelfläche an gerechnet, gleich kommt. Sind diese Eisnadeln in allen Azimuthen vorhanden, so liefern sie einen horizontalen farblosen Lichtring von der Breite des leuchtenden Objectes. Er geht durch dieses Object, weil die sehr schief einfallenden Strahlen ein diesem Objecte sehr nahes, jene aber, deren Einfallswinkel $= 0$ ist, ein wirklich mit dem Objecte zusammenfallendes Bild geben. Diese Erklärung hat neuestens Babinet durch künstliche Nachbildung des betreffenden Phänomens auf dem Wege der Reflexion zu bekräftigen gesucht. Nach Fraunhofer rühren die gesammten, hier in Rede stehenden Phänomene von der Beugung des Lichtes an Dunstkügelchen her. Der Umstand, daß die aufgehende Sonne, durch ein Gitter angesehen, welches aus horizontalen, einander hinreichend nahen und gleich weit von einander abstehenden Fäden besteht, das Phänomen der verticalen Nebensonnen ganz genau zeigt, brachte ihn auf den Gedanken, diese Erscheinung entstehe durch Beugung des Lichtes an den Dunstkügelchen der Atmosphäre. Man denke sich in einer Schichte des Dunstkreises Dunstkügelchen, die gegen die Weltgegenden unregelmäßig verbreitet sind, aber doch so liegen, daß je zwei von ihnen für einen horizontal auffallenden Strahl einerlei Entfernung haben. Fallen nun Strahlen der im Horizonte befindlichen Sonne auf sie ein, so werden sie an ihren Rändern gebeugt, in verticaler Richtung wirken sie aber viel näher auf einander ein, als in horizontaler, und bringen dieselben Phänomene hervor, wie die vorher genannten parallelen, horizontalen Linien. Daß keine Farben zum Vorschein kommen, rührt davon her, daß wegen der Ausdehnung des Sonnendurchmessers die verschiedenfarbigen Streifen in einander fallen und durch ihren Gesammteindruck die Empfindung der weißen Farbe erzeugen. Weil der Abstand der Mitte je zweier Dunstkügelchen an verschiedenen Tagen verschieden seyn kann, so ist auch der Abstand der verticalen Nebensonnen nicht immer nothwendig derselbe, und weil dieser Abstand für verschiedene Kügelchen in einem großen Grade ungleich seyn kann, so erscheint oft gar keine Nebensonne, sondern nur ein verticaler Lichtstreifen, d. i. eine sogenannte Feuersäule, wie man sie manchmal sieht. Auch eine dem horizontalen Ringe analoge Erscheinung lehrt Fraunhofer künstlich hervorbringen. Radirt man in ein mit Gold belegtes Glas parallele, aber sehr ungleich von einander abstehende Linien, und sieht durch dieses, bei einer verticalen Richtung der Linien auf die Sonne, so erblickt man zu beiden Seiten derselben einen horizontalen, weißen Lichtstreifen, der so breit ist, wie der scheinbare Sonnendurchmesser, und so lang als das Glas. Sieht man die Sonne durch ein solches Glas an, worauf gerade, von einem Puncte ausgeheude Linien gezogen sind, und welches gegen die Sonne gehörig geneigt ist, so erblickt man einen vollständigen weißen Kreis. Gibt es nun im Dunstkreise kleine Körperchen, z. B. Dunstkügelchen, Krystalle, die für den horizontal kommenden Lichtstrahl in verticalen Linien zu liegen scheinen, für das Auge des Beobachters eine regelmäßige Lage haben, und deren Abstände gegen ihren

Durchmesser sehr klein sind; so bieten sie den Lichtstrahlen im verticalen Sinne keine Zwischenräume dar, sondern decken sich, und die Strahlen werden daher nur in horizontaler Richtung abgelenkt, und gelangen so ins Auge. Daher der horizontale Kreis. Seine Farblosigkeit kommt wieder von der verschiedenen Entfernung je zweier beugender Körper oder von ihrer verschiedenen Größe. Können auch im verticalen Sinne einige Strahlen gebeugt werden, so bemerkt man auch einen verticalen Lichtstreifen vom leuchtenden Körper aus, so daß dieser mit einem Kreuze erscheint. Wo der horizontale Ring einen Hof durchschneidet, muß eine größere Lichtstärke herrschen, und es muß daselbst eine horizontale Nebensonne erscheinen, die noch dadurch verstärkt wird, daß wegen den im horizontalen Sinne größeren Zwischenräumen der Eiskrystalle nach dieser Richtung mehr gebeugtes Licht ins Auge des Beobachters gelangen kann. Der Schweif, welcher Nebensonnen oft begleitet, kommt daher, daß die gebrochenen Strahlen zwar an bestimmten Stellen (wo sie den größeren Hof bilden) am stärksten das Auge afficiren, allein doch auch außerhalb dieser Stelle noch eine empfindbare Stärke haben. (Theorie der Höfe, Nebensonnen von Fraunhofer, in den astronomischen Nachrichten herausgegeben von Schumacher. Altona 1825. Heft 3. Pogg. Ann. 16. 67. Brandes in seinen Unterhaltungen für Freunde der Physik. 3. Hft. S. 205. Babinet in Pogg. Ann. 41. 128.)

Diese Lichtphänomene sind viel häufiger, als man gewöhnlich glaubt. Mayer hat in einem Jahre (April 1826 bis April 1827) um die Sonne 47 große, 6 kleine Ringe, 13 horizontale und 7 verticale Nebensonnen, und um den Mond 12 große, 15 kleine Ringe beobachtet. Kleine Ringe sollen sich besonders bilden, wenn der Cirrocumulus am Himmel sich zeigt, und auch desto größer seyn, je größere Flocken diese Wolkenart bilden. Große Ringe, Nebensonnen, Nebenmonde ꝛc. fordern zu ihrem Entstehen entweder den Stratus oder den Cirrostratus. (Mayer in Kast. Arch. 13. 237.)

225. Eine der schönsten Lufterscheinungen ist der Regenbogen. Er erscheint in jenen Regenwolken, die von der Sonne beschienen werden, und dem Auge des Beobachters gegenüberstehen, und zeigt die gewöhnlichen prismatischen Farben, wovon Violett nach innen, Roth nach außen vorkommt. Wenn diese Farben recht lebhaft sind, so bemerkt man auch einen zweiten Regenbogen mit einem größeren Halbmesser, als jener des ersteren ist, seine Farben sind minder lebhaft und folgen in verkehrter Ordnung auf einander, so daß die innere roth, die äußere violett ist. Unter besonders günstigen Umständen wird selbst ein dritter Regenbogen bemerkbar. Manchmal zeigen sich nur Stücke eines Regenbogens, sogenannte Regengallen. Regenbogen, welche unter denselben Bedingungen durch den Mond entstehen, wie die genannten durch die Sonne, sind nicht so häufig, und immer matter als erstere.

226. Die Entstehung des Regenbogens beruht auf der Brechung und Reflexion des Lichtes und der sie begleitenden Farbenzerstreuung, und zwar verdankt der erste oder Hauptbogen jenen Modificationen des

Lichtes in den Regentropfen sein Entstehen, welche in 271, der zweite der Regenbogen denjenigen, welche in 272 näher betrachtet und der Rechnung unterworfen worden sind. Es sey A (Fig. 408) ein kugelförmiger Regentropfen und SA ein darauf fallender weißer Sonnenstrahl, der durch zwei Brechungen und eine Reflexion in das in O befindliche Auge gebracht wird. In diesem wird er aber nur dann einen hervorstehenden Eindruck machen, wenn er zu den wirksamen Strahlen gehört, d. h. wenn der Einfallswinkel α der Bedingung $\cos \alpha = \sqrt{\frac{n^2-1}{3}}$ entspricht. Es sey durch O die mit SA parallele OF gezogen. Da ist nun klar, daß alle Tropfen, welche in einem Kreise liegen, den der Punct B beschreibt, wenn sich die Linie OB um die Axe OF dreht, dieser Bedingung entsprechen werden, und daß demnach das Auge O einen hellen Kreis um OF sehen muß. Aber da es für jeden farbigen Strahl einen besonderen Werth von α gibt, so werden auch so viel verschiedenfarbige Kreise um OF sichtbar werden müssen, als es Werthe von n für das weiße Sonnenlicht gibt. Für rothe Strahlen, für welche bei dem Uebergange aus Luft in Wasser n = 1,33209 ist, hat man $\alpha = 59° 27' 50''$, für violette, denen n = 1,33888 entspricht, ist $\alpha = 59° 3' 50''$. Nach 271 ist aber der halbe Winkel BOF gleich $2\beta - \alpha$, wo α den Einfalls-, β den Brechungswinkel bezeichnet. Setzt man nun für α und β die numerischen Werthe, wie sie dem rothen und violetten Lichte entsprechen, so erhält man BOF für rothe Strahlen = 42° 12', für violette = 41° 13' 40''. Mithin ist im farbigen Bogen der violette Saum nach einwärts, der rothe nach auswärts gekehrt, den Zwischenraum füllen die übrigen Farben in natürlicher Aufeinanderfolge aus. Die Breite des ganzen Bogens wäre diesem nach = 58' 20''. Allein man muß bedenken, daß die so eben gemachte Betrachtung von jedem Puncte der Sonnenscheibe gilt und daß demnach jede Farbe, wenn sie allein vorhanden wäre, eine dem scheinbaren Sonnendurchmesser gleiche Breite, mithin der ganze farbige Bogen eine um diesen Durchmesser größere Breite haben müsse, wobei jedoch nur die äußeren Farben deutlich hervortreten werden, die mittleren aber sich durch gegenseitige Deckung schwächen. — Aehnliche Betrachtungen lassen sich bezüglich des Nebenregenbogens anstellen. Für diesen fordern die wirksamen Strahlen einen Einfallswinkel, dessen Cosinus $= \sqrt{\frac{n^2-1}{8}}$ ist, mithin für rothes Licht 71° 52', für violettes 71° 39' beträgt, und der vorher mit BOF bezeichnete Winkel hat für dieses den Werth 52° 40', für jenes 50° 22', wobei der Einfluß des Sonnendurchmessers bereits berücksichtiget ist. Der ganze Bogen hat also eine Breite von nahe 2° 18' und der Zwischenraum zwischen diesem und dem ersten Regenbogen beträgt 50° 22' — 42° 12' = 8° 10'.

227. Aus dieser Ansicht, deren Richtigkeit sowohl durch die Uebereinstimmung der wirklichen Maße mit den aus der Theorie abgeleiteten, als auch dadurch unterstützt wird, daß der Polarisationszustand des Regenbogenlichtes den hier vorausgesetzten Modificatio-

nen entspricht, läßt sich auch einsehen, daß bei uns nie ein Regenbogen gegen Süden erscheinen kann, daß jeder Beobachter seinen eigenen Regenbogen sieht, und zwar in jedem Augenblicke einen anderen, indem die Sonne ihre Lage gegen die Regenwolke in jedem Augenblicke ändert, daß er in jedem Augenblicke von anderen Tropfen gebildet wird, daß besonders im flachen Lande, wo die Regenwolken gewöhnlich weit entfernt sind, nur ein Stück des gefärbten Kreises über dem Horizonte liegt. Zieht man nämlich durch O die horizontale OH, so ist klar, daß das sichtbare Stück des Hauptregenbogens durch den Winkel BOH = BOF — HOF = 42° — HOF ausgedrückt, wobei HOF die Sonnenhöhe bezeichnet. Man sieht daher diesen Regenbogen nur, wenn die Sonnenhöhe kleiner als 42° ist, und der sichtbare Bogen hat selbst beim Sonnenuntergange nur eine Höhe, welche diesem Winkel gleicht. Auf hohen Bergen sieht man einen größeren Theil, und man würde einen ganzen Kreis sehen, wenn das Auge 42° unter den Horizont reichte. Dieses kann geschehen, wenn die Tropfenwand dem Auge nahe ist, wie es bei Wasserfällen oft geschieht.

228. Eine genaue Betrachtung der Regenbogen, namentlich des intensiveren Hauptregenbogens lehrt, daß derselbe jederzeit innerhalb des violetten Randes von einigen concentrischen Farbensäumen, an welchen sich besonders ein Wechsel von Roth und Grün wahrnehmen läßt, begleitet wird. Diese Erscheinung, welche bisher zu verschiedenen Meinungen über ihren Ursprung Anlaß gegeben hat, findet, wie Airy vor Kurzem bewies, nicht in den Principien der gewöhnlichen geometrischen Optik, sondern einzig und allein in der Undulationstheorie des Lichtes ihre wahre Erklärung. Sie ist eine Folge des Umstandes, daß in der Nähe einer Brennlinie, dergleichen ein Regenbogen ist, aus ähnlichen Gründen wie bei den Beugungsphänomenen, mehrere Maxima und Minima der Lichtstärke obwalten, nach Maßgabe der Phasenunterschiede, in welchen die sich da zur wirksamen Welle vereinigenden Elementarwellen mit einander zusammen treffen. (Vergl. S. 568.) Schon Arago hatte hier ein Interferenzphänomen vermuthet.

Außer den oben besprochenen gewöhnlichen Regenbogen zeigen sich manchmal auch noch ungewöhnliche Erscheinungen. Dahin gehören die verschiedenen Mittelpuncten entsprechenden, einander durchschneidenden, oder gar umgekehrten Regenbogen. Man erklärt dieselben aus der Wirkung eines durch Reflexion an ruhig stehendem Wasser hervorgebrachten Spiegelbildes der Sonne, das gleichsam die Anwesenheit einer zweiten Sonne vertritt.

229. Zu den leuchtenden merkwürdigen Lufterscheinungen gehört auch das Zodiakallicht, d. i. ein blasser, weißlicher Schimmer, welcher die Gestalt einer schief liegenden Pyramide hat, deren Basis auf dem Horizonte steht, deren Spitze nach dem culminirenden Puncte des Aequators gerichtet ist. Es erscheint nur zur Zeit der Nachtgleichen, und zwar im Herbste vor, im Frühlinge nach Sonnenuntergang. Nach Mairan's Erklärung ist diese Erscheinung die entweder selbst

leuchtende oder erleuchtete Sonnenatmosphäre, welche wegen des schnellen Umschwunges der Sonne eine linsenförmige Gestalt hat. Daß man sie nicht immer sieht, kommt von der schiefen Lage der Ekliptik gegen den Horizont und der verschiedenen Dauer der Dämmerung. Allein es läßt sich nach dem Gesetze der Gravitation darthun, daß sich die Sonnenatmosphäre nicht einmal bis zur Merkurbahn erstreckt, mithin diese Erscheinung durchaus nicht hervorbringen kann. Man muß deßhalb diese Erscheinung zu den noch unerklärten zählen.

Achtes Kapitel.

Feuermeteore.

230. Die sogenannten feurigen Lufterscheinungen gehören zu den räthselhaftesten Phänomenen im Reiche der Natur. Man hat über ihr Entstehen und Wesen nichts als mehr oder weniger gewagte Hypothesen. In die Classe dieser Erscheinungen gehören die Irrlichter, Sternschuppen und Feuerkugeln.

231. Die Irrlichter sind kleine Flämmchen, welche Nachts, vorzüglich an feuchten Orten, wo thierische Körper in Fäulniß übergehen, bemerkt werden, auf und nieder, hin und her hüpfen, sich zu einem vereinigen und sich wieder trennen. Sie sind wahrscheinlich gephosphortes Wasserstoffgas, das sich successiv, an verschiedenen Puncten in verschiedener Menge entwickelt, und sobald es die unteren, vorzüglich Nachts durch die Pflanzen ausgehauchten Schichten kohlensaurer Luft überschritten hat, sich entzündet. Wenn sie auch ununterbrochen zu leuchten scheinen, so kommt dieses doch nur davon her, daß die Gasentwicklung ununterbrochen vor sich geht, und jedes verbrannte Theilchen gleich wieder durch ein anderes ersetzt wird. Durch den Luftzug können solche Theilchen verschiedene Bewegungen bekommen, sich heben und senken, vertheilen und sich wieder vereinigen.

232. Jedermann kennt gewiß jene kleinen leuchtenden Körper, die, einem Sterne ähnlich, mit bedeutender Geschwindigkeit am Himmel fortschießen, und in wenigen Secunden verschwinden. Man nennt sie Sternschnuppen. Sie erscheinen in sehr verschiedener Größe, und zwar wie Sterne der dritten bis sechsten Größe, oft sogar so glänzend wie Jupiter und Venus. Bei einigen derselben bleiben Schweife zurück, welche einen Theil der zurückgelegten Bahn mit einem blassen Lichte bezeichnen, aber auch diese verschwinden schon nach wenigen Secunden, und dauern nur bei den größten derselben Minuten lang. Aus correspondirenden Beobachtungen hat man die Höhe kennen gelernt, in welcher sie verschwinden; diese wechselt von 1—50 Meilen. Man glaubt aber, daß einige derselben bis zur Erde herabfallen, und manche hielten die schleimigen, gallertartigen Stoffe, welche man an solchen Stellen gefunden hat, für Ueberreste von Sternschnuppen, wiewohl sich gegen eine solche Annahme gegründete Einwürfe erheben lassen.

Die Geschwindigkeit, mit der die Sternschnuppen ihre Bahn durchlaufen, ist bedeutend, und man nimmt an, daß sie in einer Secunde 4 — 8 Meilen zurücklegen. Meistens gehen sie abwärts, oft auch horizontal, ja man hat sogar aufwärts fahrende beobachtet, doch scheint letzteres eine bloße Anomalie zu seyn, die an der betreffenden Sternschnuppe durch eine partielle Explosion nach dem Gesetze der Rückwirkung, wie wir dieses an Raketen bemerken, bewirkt wird. Die Sternschnuppen sind jedem Klima und jeder Gegend eigen, und ihr Erscheinen ist von der Witterung ganz unabhängig; aber nicht zu allen Zeiten bemerkt man deren, selbst unter sonst günstigen Umständen gleich viele. Am häufigsten hat man sie nun seit mehreren Jahren Mitte Novembers und dann Mitte Augusts beobachtet. Merkwürdig ist, daß die meisten derselben aus der Gegend des Sternbildes des Löwen zu kommen scheinen. Ueber die Natur dieser merkwürdigen Phänomene ist man noch keineswegs im Reinen. Der jetzt wahrscheinlichsten Annahme zu Folge sind die Sternschnuppen kleine Massen, die im Weltraume mit planetarischer Geschwindigkeit nach den Gesetzen der allgemeinen Schwere um die Sonne kreisen, und wenn sie in unsere Atmosphäre kommen, sich darin entzünden, und sich dabei entweder ganz verzehren oder in einer oder der anderen Form herabfallen, oder endlich auch, nachdem sie den in ihrer Bahn liegenden Theil der Atmosphäre durchwandert haben, wieder ihren Weg um die Sonne fortsetzen. Daß sie gerade im November und August in größerer Zahl bemerkbar sind, mag davon herrühren, daß die Bahnen solcher Körper gerade da einander am nächsten liegen (eine Art Milchstraße bilden), wo sich die Erde an der ersten Hälfte des November und August befindet. (Beobachtungen über Sternschnuppen von Brandes. Leipzig 1825. Pogg. Ann. 29. 447; 31. 159; 33. 189; 36. 315; 38. 550; 39. 353, 415, 461; 41. 175, 48 582; Zeitschr. n. F. 2. 11; Schumachers Jahrbuch für 1837, S. 36, für 1838, S 317. Repertorium der Physik von Dove 4. 275.)

233. Von ähnlicher, nur der Größe nach verschiedener Natur scheinen die Feuerkugeln, fliegenden Drachen u. dergl. zu seyn. Sie erscheinen oft zugleich mit den Sternschnuppen, unabhängig von Klima und Wetter, in Gestalt leuchtender Massen in einer so bedeutenden Höhe, daß man sie in weit entfernten Orten zugleich sehen kann. Sie bewegen sich in einer gegen den Horizont mehr oder weniger geneigten Bahn mit sehr großer Geschwindigkeit abwärts, verschwinden ohne eine Spur zurückzulassen, oder zerspringen mit großem Getöse und lassen eine steinartige Masse, Meteorsteine, in vielen Stücken, glühend heiß und weich, zur Erde fallen. Die Meteorsteine sind körnig krystallinische Massen, die meistens äußerlich mit einer dunkleren Rinde überzogen sind. Sie bestehen ganz aus Eisen, oder sind doch von metallinischem Eisen durchsetzt. Die meisten sind sich in der Zusammensetzung ihrer Bestandtheile so ähnlich, wie Stücke derselben Felsenmasse. Sie unterscheiden sich von den auf der Erde vorkommenden Körpern durch den Reichthum an Talkerde, durch Seltenheit der

Kieselerde und dem unbedeutenden Gehalt an thonigen und alkalinischen Silicaten, besonders aber durch das Vorkommen des gediegenen Eisens, das in diesem Zustande auf der Erde nicht gefunden wird, haben aber mit den auf der Erde vorkommenden Mineralkörpern das gemein, daß die einfachen Stoffe und einige Mischungen derselben zu mineralogischen Arten in beiden auf gleiche Weise vereinigt sind. Ihr sp. Gewicht beträgt 3,5 — 4,28.

234. Da die Meteorsteine das eigentliche Material der Feuerkugeln sind, und diese, so wie die ihnen gleich beschaffenen Sternschnuppen, nach dem gegenwärtigen Zustande unserer Kenntnisse als dem Weltraume angehörige, vielleicht nur zufällig in unsere Atmosphäre gerathene Körper angesehen werden müssen; so fallen die Hypothesen über den atmosphärischen oder lunarischen Ursprung der Meteorsteine als unhaltbar von selbst weg, und es bleibt nur jene übrig, welche ihnen einen kosmischen Ursprung anweiset. (Fischer in den Abhandlungen der Berliner Gesellschaft 1820, 1821. Chladni über Feuermeteore und über die mit denselben herabgefallenen Massen, mit Steindrucktafeln und deren Erklärung von Schreibers. Wien 1819. Ideler über den Ursprung der Feuerkugeln und des Nordlichtes. Berlin 1832. v. Holger in Zeitschrift 7. 129, 279; 9. 323. v. Schreibers in Zeitschr. n. F. 1. 193. Berzelius in Pogg. Ann. 33, 1. 113. Hoff ebend. 36. 161.)

Neuntes Kapitel.

Einiges über Wetteranzeigen.

235. Nicht alle der abgehandelten Meteore sind für uns von gleicher Wichtigkeit. Die Wärmemeteore, die Winde, die wässerigen Niederschläge, und zum Theile auch die Gewitter spielen durch ihren großen Einfluß auf die Vegetation und auf den thierischen Haushalt die Hauptrolle; darum bestimmt auch der Inbegriff derselben vorzugsweise den Charakter des Wetters, und deren Eintreten vorherzusagen, war von jeher der Gegenstand vielfacher Bemühungen; aber wir sind selbst bei dem gegenwärtigen vorgerückten Zustande der Physik noch sehr weit vom Ziele entfernt. Die geringen Fortschritte in diesem Puncte erklären sich leicht aus der Schwierigkeit des Gegenstandes. Findet doch der Astronom, welcher es nur mit einer einzigen Kraft, nämlich mit der Gravitation, zu thun hat, wenn er ein Phänomen am Himmel vorherbestimmen will, viel Schwierigkeit, sobald nur mehr als zwei Himmelskörper zur Erzeugung dieses Phänomens, wenn auch nach demselben Gesetze zusammenwirken, und der Meteorolog soll Phänomene vorherbestimmen, die von so vielen Ursachen abhängen, welche sich überdieß nicht einmal der Größe nach bestimmen lassen, und nicht gestatten, von der Intensität derselben an einem Orte auf die an einem anderen zu schließen. Ohne Zweifel unterliegt jedes die Wit-

terung constituirende Phänomen einer periodischen Wiederkehr, und könnte man jedes von allen übrigen isoliren, so würde man das Gesetz der Wiederkehr leicht erkennen. Allein das Zugleichseyn so vieler Erscheinungen, die, wenn auch jede einzelne eine Periode einhaltend, doch mit ihren verschiedenen Phasen auf einander fallen, maskirt die Regelmäßigkeit des Ganzen, und läßt die Witterung, besonders der gemäßigten Zone, als ungeregeltes Chaos erscheinen. Der Meteorolog, der seine Wissenschaft ernstlich fördern will, muß daher vor allem dahin arbeiten, die Phänomene zu isoliren, um das Gesetz jedes einzelnen kennen zu lernen. Die Zusammensetzung der Gesetze der einzelnen Erscheinungen wird dann von selbst das Gesetz des Ganzen als Resultirende geben, der fest geschlungene Knoten der Witterungserscheinungen wird sich entwirren, und Wetterprophezeiungen werden nicht mehr ein so mißliches Geschäft seyn, wie jetzt, wo man höchstens nur isolirte Wetterregeln geben kann.

236. Alle derlei Wetterregeln lassen sich füglich in zwei Classen bringen. In die erste zählen wir jene, die sich nicht bloß durch vielfache Beobachtungen allgemein bewährt haben, sondern deren Richtigkeit auch aus den anerkannten Naturgesetzen begreiflich ist; in die zweite jene, für welche wohl vielfache Erfahrungen sprechen, die man aber nicht zu erklären vermag, wiewohl sie mit der Theorie nicht im Widerspruche stehen. Solche, die anerkannten Gesetzen oder sich selbst widersprechen, sollen billig der verdienten Vergessenheit überliefert werden.

237. Die sichersten Wetterregeln ergeben sich 1) aus den Luftbewegungen, d. h. aus den Winden und den Oscillationen des Barometers; 2) aus der Durchsichtigkeit der Luft und der Farbe des Firmamentes; 3) aus dem Aussehen der Sonne, des Mondes und der Sterne; 4) aus den Wolken; 5) aus der Feuchtigkeit der unteren Atmosphäre; 6) aus der vorhergehenden Witterung; 7) aus dem Mondesstande; 8) aus dem Benehmen mancher Thiere und Pflanzen.

238. Es ist aus dem früher Abgehandelten klar, daß die Winde auf die Wärme und Feuchtigkeit der Luft einen sehr großen Einfluß nehmen müssen, weil sie uns die Luft entfernter Gegenden mit ihrer Temperatur und ihrem Wassergehalte zuführen. Verbindet man damit noch die Thatsache, daß warme Winde stets von oben, kalte aber von unten einbrechen, und daß die Drehung des Windes fast immer nach einem bestimmten Drehungsgesetze vor sich gehe; so wird man sich den Zusammenhang zwischen den Winden und den Wärme- und Wassermeteoren leicht erklären können. Die Wärmeerscheinungen unserer Gegenden werden vorzugsweise durch die zwei einander abwechselnd verdrängenden Luftströme, den Polar- und Aequatorialstrom bedingt, und das längere Verharren in einem und demselben Strome gibt der Witterung den regelmäßigen Charakter, öfteres Wechseln aber erzeugt Extreme, wie sie oft bemerkt werden. Ein dauerndes Befinden im N. Strome bringt kalte Winter und trockene und

warme Sommer, ein anhaltendes Verharren des S. Stromes aber nasse und kühle Sommer und milde Winter. Wechselt der Strom beim Eintritte des Winters, so folgt auf einen heißen Sommer ein milder Winter oder auf einen kühlen Sommer ein strenger Winter. Wenn aber ein großer Theil von Europa sich im N. Strome befindet, so muß sich Asien oder Amerika im S. Strome befinden und umgekehrt, daher es denn auch kommt, daß milde Winter bei uns mit ungewöhnlich strengen in Amerika oder Asien gleichzeitig sind, wie dieses in den Jahren 1821 — 1822 und 1834 — 1835 der Fall war, wo das Thermometer während der entschiedensten Wintermonate kaum 10 Tage hinter einander unter 0° stand, während in Amerika selbst in einer Breite von Mailand das Quecksilber fror. Der durch den Südstrom unterhaltene milde Winter einer Gegend unterstützt die erwärmende Wirkung der Sonne im Frühlinge, während diese Wirkung dort, wo ein strenger Winter herrscht, durch die zum Schmelzen des Eises nöthige Wärmebildung nicht Statt hat; die Wärmedifferenz beider Gegenden wird dadurch gesteigert, der Druck der Luft in der kalten Gegend vermehrt, und endlich dahin gebracht, daß der N. Strom den S. Strom überwältigt, und sich über die Gegenden ergießt, welche im Genusse eines milden Winters und eines schönen Frühlingsanfanges sind. Daher kommt es, daß oft auf milde Winter ein kalter Frühling folgt und den gemeinen Mann auf die Meinung bringt, es müsse sich die Natur eines gewissen Maßes von Kälte im Laufe eines Jahres entledigen.

239. Das **Barometer** wird mit Recht als einer der zuverläßigsten Wetterpropheten angesehen: denn man kann fast immer mit Sicherheit von starken Veränderungen im Barometerstande auf Aenderungen im Charakter der Witterung schließen. Gewöhnlich geht man aber noch weiter, und betrachtet das Fallen des Barometers als Vorzeichen einer schlechten, das Steigen desselben als Vorzeichen einer günstigen Witterung. Ungewöhnlich starkes und schnelles Fallen des Barometers muß mit starken Störungen des Gleichgewichtes verbunden seyn, und wird darum mit Recht als Zeichen eines bevorstehenden oder schon in mehr oder weniger weit entfernten Orten herrschenden Sturmes angesehen. Darum pflegen Seeleute das Barometer fleißig zu beobachten, um aus dessen Stande abnehmen zu können, ob es etwa Zeit sey, sich auf einen bevorstehenden Sturm vorzubereiten. Da der Uebergang der Wasserdünste in tropfbaren Zustand eine Verminderung des Luftdruckes erzeugen muß, weil wohl die Dünste, nicht aber die Wassertropfen, den Druck der Atmosphäre vermehren helfen; so muß auch wohl in der Regel ein Sinken des Barometers schlechtes, ein Steigen gutes Wetter erwarten lassen, jedoch wird die Erwartung nicht selten getäuscht, weil feuchte Luft nicht immer so weit gebracht wird, daß ihr Dunstgehalt in Wasser übergeht, und auch bei eintretender Kälte, die mit einem Steigen des Barometers verbunden ist, die schon vorhandenen Dünste ausgeschieden werden können. Nach v. **Buch** unterbleiben Wasserniederschläge nicht, sobald das Barome-

ter bei irgend einem Winde unter die diesem Winde entsprechende mittlere Höhe herabgesunken ist. Da auf östliche Winde meistens südliche folgen, und durch Abkühlung der letzteren wässerige Niederschläge und zugleich ein Sinken des Barometers bewirkt werden; so muß bei ihnen das Barometer vor oder während des Regens fallen. Auf der Westseite erfolgt aber das Gegentheil; denn weil ein westlicher Wind in der Regel in einen nördlichen umschlägt, wodurch Regen und zugleich ein Steigen des Barometers bewirkt wird, so muß bei bei solchen Winden das Barometer während oder vor dem Regen steigen.

240. Die Durchsichtigkeit und Farbe der Luft (des Firmamentes) hängt bekanntlich von der Menge und dem Aggregationszustande des in der Luft enthaltenen Wassers ab, und daher kann man von jener auf diese und auf die leicht sich daraus ergebenden Folgen schließen. So lange das Wasser im vollkommen expansiblen Zustande in der Luft schwebt, macht es dieselbe desto durchsichtiger, in je größerer Menge es darin vorkommt. Daher sieht man die aus der großen Durchsichtigkeit der Luft sich ergebende, scheinbare Nähe ferner Gegenstände, das schwarze Aussehen von Wäldern ꝛc. als Zeichen der überhand nehmenden Luftfeuchtigkeit an. Von dieser großen Durchsichtigkeit der Luft mag auch die stärker erwärmende Kraft der Sonne herrühren, und darin der Grund liegen, warum man das Stechen der Sonne als Vorzeichen einer Wetteränderung ansieht. Ungewöhnliche Heiterkeit des nächtlichen Himmels, durch welche selbst die kleineren Sterne sichtbar werden, hat dieselbe Bedeutung; ein sanfter Schleier über ferne Berge läßt aus gleichem Grunde ein Fortdauern der günstigen Witterung hoffen. Das Erblassen des Firmamentes deutet den Anfang des Uebergangs der Dünste in kleine Tröpfchen an, und ist darum ein Vorbote wässeriger Niederschläge. Es wird meistens durch den in oberen Regionen schon eingetretenen Südwind verursacht.

241. Schon die Alten haben das Aussehen der Sonne, des Mondes und der Sterne, besonders beim Auf- und Untergange, zum Behufe der Meteoromantie benützt, und man sieht leicht ein, daß dieses mit Grund geschah, indem man daraus auf den Feuchtigkeitszustand der Luft und daher auch auf die damit zusammenhängenden Phänomene schließen kann. Geht die Sonne, der Mond, oder ein Stern früher auf als gewöhnlich, so herrscht eine starke Strahlenbrechung und die Luft enthält viel Dünste; dasselbe ist der Fall, wenn die Scheibe des Mondes oder der Sonne beim Aufgehen ungewöhnlich groß oder oval erscheint. Eine verticale Nebensonne oder ein Nebenmond hat eine ähnliche Vorbedeutung. Gehen die Gestirne, besonders aber die Sonne blaß, roth oder gar unter Wolken auf, so mag der übrige Himmel wie immer rein seyn, es ist doch ein baldiger wässeriger Niederschlag zu besorgen, weil schon ein südlicher (südöstlicher), viele Dünste mit sich führender Wind im Anzuge ist. Ja selbst wenn directer Ostwind herrscht, so zeigen doch die schon an der Ostseite vorhandenen hohen Wolken an, daß der in der Regel ihn ablösende süd-

liche Wind diese Wolken in Regenwolken verwandeln werde. Darum geht ein solcher Sonnenaufgang nicht selten der Witterungsänderung um 2 — 3 Tage voraus. Trüber Sonnenuntergang zeigt eine Anhäufung der Dünste am westlichen Himmel, und da im mittleren Europa die westlichen Winde die herrschenden sind, die Wahrscheinlichkeit, daß dieses Uebermaß auch bald unseren Scheitel erreichen wird. Starkes Funkeln der Sterne, ungewöhnliche Größe derselben, Höfe um sie, um die Sonne und den Mond müssen, ihrer Natur nach, nasse Witterung befürchten lassen, und zwar letzteres um so mehr, je größer sie sind, weil die Größe der Höfe einen Beweis für ihre geringe Entfernung abgibt.

242. Ein fast immer sicheres Vorzeichen der bevorstehenden Witterung gibt die Gestalt, Lage und Veränderung der Wolken ab. Lange Federwolken verkünden Wind aus der Gegend, wohin ihre Spitzen zeigen; dasselbe gilt von gedrängten, gehäuften Federwolken. Geschichtete Federwolken, besonders am westlichen Himmel, drohen mit anhaltendem sanften Landregen. Wenn Haufenwolken früh entstehen, bis Mittag sich anhäufen und Nachmittag wieder abnehmen, dauert schönes Wetter fort; sobald sie aber der Nachmittag nicht mehr zu überwältigen vermag, und der nächtliche Himmel noch mehrere derselben antrifft, gehen sie in die geschichtete Haufenwolke über und bringen Regen. Die isolirt am Himmel schwebende Haufenwolke ist überhaupt ein günstiges Wetterzeichen, weil sie das Uebergewicht der von der Erde aufsteigenden, warmen Luftströme über den Einfluß der Winde beweiset; darum sind solche Wolken bei uns im Winter, in den Polargegenden aber immer eine Seltenheit. Regenwolken lassen wenig befürchten, wenn sie am östlichen Himmel schweben, desto mehr aber, wenn sie an der Westseite stehen, weil sie im ersten Falle bei dem entschiedenen Uebergewichte der westlichen Winde von uns hinweg-, im zweiten aber zu uns herbeigeführt werden. Darum ist auch ein Regenbogen am Abende (östliche Regenwolken) ein gutes, am Morgen ein schlechtes Vorzeichen. Tief schwebende Wolken sind entweder sehr dicht und daher ihrer Zersetzung sehr nahe, oder sie setzen eine große Feuchtigkeit der Luft voraus; sie sind daher immer von übler Vorbedeutung, besonders wenn sie sich in der Richtung befinden, von woher die herrschenden Winde blasen. Darum befürchtet man schlechtes Wetter, wenn die Gipfel der Berge von Wolken eingehüllt erscheinen, und hofft nicht eher auf Rückkehr eines besseren, als bis sich die Berge an der Regenseite wieder unbewölkt zeigen; darum dienen gewisse Berge, wie z. B. der Zopten in Schlesien und die nordwestliche Gebirgskette um Wien, als Wetteranzeiger. Das Wasserziehen der Sonne setzt sehr tief schwebende feine Wolken voraus, und ist darum ein Regenzeichen.

243. Ungewöhnlich große Feuchtigkeit oder Trockenheit der Luft in den unteren Regionen läßt auf nasse oder trockene Witterung für die Zukunft schließen. Darum sind Hygrometerbeobachtungen selbst in dieser Beziehung nützlich. Wenn der Thaupunkt des Schwefelätherhygrometers bei Sonnenuntergang über dem Eispuncte liegt,

hat man selbst bei heiteren Nächten in der Regel keinen Reif zu besorgen, weil ohne Nebelbildung oder Wind die Erkältung nicht unter diesen Punct fortschreitet, und bei eintretendem Nebel oder Wind fast nie ein Reif sich bilden kann. Alles, was auf große Luftfeuchtigkeit schließen läßt, verkündet nasse Witterung. Darum ist das Rauchen der Wälder, das Niederschlagen des Rauches, das Stinken von Senkgruben, das Beschlagen der Mauern und Steine, das Nachlassen steifer Papiere, das Zerfließen der Salze, das starke Riechen des in der Luft liegenden Chlorkalkes, der ungewöhnlich weiche Ton geleimter musikalischer Instrumente, der ungewöhnlich helle Ton ferner Glocken 2c., oft von übler Vorbedeutung.

244. Plötzliche Aenderung in der Stärke und im Zeichen der Luftelektricität führt in der Regel eine Aenderung im Charakter der Witterung mit sich. Das Verschwinden der Luftelektricität deutet auf bevorstehenden Wind, nicht selten auf wässerige Niederschläge.

245. Der größte Theil der Wetterregeln, auf welche der gemeine Mann einen so großen Werth setzt, und die sogar zum Sprichworte geworden sind, bezieht sich auf den Zusammenhang der Meteore und ihre periodische Wiederkehr, und es wird dabei stets von der Witterung der Gegenwart auf die Zukunft geschlossen. Viele dieser Regeln stehen unter sich im Widerspruche, andere setzen einen Zusammenhang zwischen Dingen voraus, die von einander unabhängig sind, andere haben allerdings Grund und sind allein einer näheren Erwähnung werth. Dem jährlichen Gange der Wärme gemäß steht der Winter mit dem Frühlinge mittelst eines Nachwinters, der Sommer mit dem Herbste mittelst eines Nachsommers in Verbindung. Weder der Nachsommer noch der Nachwinter tritt immer zur selben Zeit ein, doch unterbleibt in der Regel keiner von beiden. Man sieht es als ein günstiges Ereigniß an, wenn der Nachwinter schnell auf den eigentlichen Winter folgt, weil dann die Luftwärme zeitlich genug den zum Keimen der Samen nöthigen Grad erreicht. Darauf beruht es, daß man trockenen März so hoch ansetzt (Märzstaub ist goldeswerth), schöne Witterung im Februar ungern sieht 2c. Im südlichen Deutschland äußern die tropischen Regen der heißen Zone ihren Einfluß durch häufige Wasserniederschläge. Wenn diese eintreten, so beginnen sie im Anfange Juni, und darum hält der Landmann einen Landregen in dieser Zeit für ein Vorzeichen eines nassen Sommers. Ein nasser Frühling und Sommer läßt einen trockenen Herbst, viel Schnee im Winter einen trockenen Sommer hoffen, weil wir uns unter diesen Umständen während des Frühlings und Sommers oder während des Herbstes im Südstrome befinden, und daher bei einem Wechsel in den Nordstrom kommen. Morgenregen gelten fast allgemein als schnell vorübergehend, weil die fast immer herrschenden Westwinde die Regenwolken vertreiben und die Tageswärme die Wolken verdünnt; Abendregen hingegen werden als anhaltend angesehen, weil sie durch die nächtliche Kühle noch mehr verstärkt werden. Dauert nach einem Regen die Wärme fort, so bleibt der Südwind herrschend, und wir haben eine Wiederholung

eines Wasserniederschlages zu befürchten. Eben darum folgt auf ein Gewitter fast immer ein zweites, wenn nicht auf das erste eine erquickende Kühle eintritt. Zu reichlicher Thau läßt auf viele Luftfeuchtigkeit schließen, das gänzliche Ausbleiben des Thaues ist ein Zeichen von herrschenden Winden oder von zu trüber Luft, und deutet auf baldigen Regen.

246. Mehrere Beobachter wollen auch einen Zusammenhang zwischen der Witterung und dem Mondesstande beobachtet haben, und zwar hat Schübler gezeigt, daß sich dieser Einfluß des Mondes auf die Regenmenge, Windesrichtung, den Barometerstand und die Witterungsveränderung beziehe. Kreil hat dargethan, daß es einen Zusammenhang zwischen dem Mondesstande, dem Luftdrucke, der Lufttemperatur und der Heiterkeit des Himmels gebe. Schüblers Untersuchungen lehren, daß es am Tage des letzten Viertels am wenigsten regne, und daß die Regenmenge allmälig wachse, am Tage, wo der Mond im zweiten Octanten steht, das Maximum erreiche, und von da an wieder abnehme. Vom Neumonde bis zum zweiten Octanten werden in Deutschland die Süd- und Westwinde, um das letzte Viertel hingegen die Ost- und Nordwinde häufiger; im letzten Viertel steht im Durchschnitte das Barometer am höchsten, im zweiten Octanten am niedrigsten. Es ändert sich die Witterung am öftesten, wenn sich der Mond in der Erdnähe befindet, seine Kraft, das Wetter zu ändern, nimmt ab in folgender Ordnung: Neumond nach der Erdnähe, Vollmond, Erdferne, die Quadraturen (Viertel), die Aequinoctien, die Lunistitien. Ueber den von Kreil constatirten Einfluß des Mondes auf den Luftdruck war schon früher (840) die Rede. Bezüglich des von ihm zuerst bemerkten Zusammenhanges zwischen dem Mondesstande und der Lufttemperatur hat sich ergeben, daß diese Einwirkung des Mondes im Winter viel größer sey als im Sommer, und in ersterer Jahreszeit 0°,4, in letzterer 0°,25, im Durchschnitte aber 0°,2 R. betrage. Im Sommer fängt die Temperatur zu sinken an, sobald der Mond den Meridian überschritten hat, erreicht beim Untergange desselben das Minimum, steigt dann wieder bis zur unteren Culmination und behält ihre Höhe unverändert bei, während der Mond östlich von dem Meridian steht. Im Winter wächst die Temperatur regelmäßig, während der Mond von der unteren Culmination zur oberen, und sinkt eben so, während er von der oberen Culmination zur unteren übergeht.. Die erwärmende Wirkung des Mondes hält nicht mit seiner beleuchtenden Kraft gleichen Schritt, ja es gehen diese beiden Wirkungen im Sommer zur Zeit des Vollmondes gerade in entgegengesetzter Richtung vor sich. Auch auf die Heiterkeit des Himmels hat der Mond Einfluß, und zwar hat dieser eine auffallende Aehnlichkeit mit der Einwirkung des Mondes auf den Luftdruck, indem dem höchsten vom Monde abhängigen Barometerstande der größte, und dem tiefsten der geringste Grad der Heiterkeit entspricht, nur sind beim Luftdruck die Wendestunden etwas weiter von einander entfernt, als bei den Graden der Heiterkeit. Indeß können derlei Untersuchungen, welche

eine so große Anzahl von guten Beobachtungen und eine höchst zweckmäßige Benützung derselben voraussetzen, für noch nicht geschlossen angesehen werden.

Nach Toaldo verhält sich die Wahrscheinlichkeit, daß sich das Wetter ändern wird, zu der des Gegentheils bei der Erdnähe des Mondes wie 6 : 1, beim Neumonde nahe wie 6 : 1, beim Vollmonde wie 5 : 1, bei der Erdferne wie 4 : 1, bei den Vierteln nahe wie 2 : 1, bei den Aequinoctien wie 2 : 1. *(Essai météorologique. Chambery* 1784. 131.) Nach Schübler verhält sich die Wirksamkeit des Mondes, die Witterung zu ändern, beim Vollmonde und letzten Viertel wie 1000 : 823, in der Erdnähe und Erdferne wie 1000 : 588. (Ueber den Einfluß des Mondes auf die Aenderungen der Atm. v. Schübler. Leipzig 1830. Kast. Arch. für Chemie und Meteor. 4. 13., 161. Eisenlohr in Pogg. Ann. 30. 72; 35. 141 und 309. Mädler in Schumachers Jahrb. für 1840. S. 252; Kreil's astron. meteor. Jahrbuch 1. Jahrg.)

247. Daß viele Thiere die bevorstehende Witterung durch ihr Benehmen anzeigen, ist bekannt. Es erklärt sich dieses zum Theile aus dem geübteren Empfindungsvermögen dieser stets im Freien lebenden Wesen, theils aus dem Umstande, daß sie ihre Nahrung bei bevorstehender Wetteränderung an einigen Orten leichter finden als an anderen. So z. B. fliegen Schwalben bei drohendem Regen sehr niedrig, weil sie in der Nähe des Bodens die Insecten, welche stets die trockenste und wärmste Luft suchen und ihnen zur Nahrung dienen, am leichtesten antreffen; Fische tauchen aus demselben Grunde öfter auf, und haschen die über dem Wasser schwebenden Insecten; Möven sammeln sich vor einem Sturme am Meeresufer, um der ausgeworfenen Fische habhaft zu werden. Das Ankommen der Zugvögel gilt meistens als Zeichen der nahen Frühlingswärme, weil diese Thiere der warmen, oberen Luft nachziehen, und sich erwarten läßt, diese werde sich auch bald senken und die untere Luft erwärmen. Eben so sieht man das Wegziehen derselben als Zeichen der bevorstehenden Wärmeabnahme an, weil die in den nördlichen Gegenden wohnenden Thiere ihren Aufenthaltsort alsogleich verlassen, sobald kalte Luft herrschend wird, und durch ihr Ziehen in südlichere Gegenden auch die daselbst wohnenden ans Fortziehen erinnern 2c.

248. Oft geschieht es, daß zu gleicher Zeit entgegengesetzte Wetterzeichen eintreten und den Beobachter in Zweifel setzen, welchem von ihnen er mehr trauen soll. In einem solchen Falle läßt sich nur dann eine gegründete Vermuthung wagen, wenn eines dieser Zeichen über die anderen von entschiedenem Uebergewichte ist; allein selbst im Falle eines einzigen Vorzeichens darf man das, was die vorhergehenden Regeln angeben, nur für Wahrscheinlichkeit halten.

(Pilgram über das Wahrscheinliche der Witterungskunde. Wien 1788. Neue Ideen über die Meteorologie von de Luc. 1787. Lehrbuch der physischen Astronomie, Theorie der Erde und Meteorologie von J. T. Mayer. Göttingen 1805 Systematischer Grundriß der Atmosphärologie von Lampadius. Freiberg 1806. Handbuch der Naturlehre von Schmidt. Zweite Abtheilung. Gießen 1813.

Die Witterungskunde in ihrer Grundlage von Schön. Würzburg 1818. Anfangsgründe der Naturlehre von Muncke. 2. Abtheilung. Heidelberg 1820. Desselben Handbuch der Naturlehre. 2. Thl. Heidelberg 1830. Handbuch der Meteorologie von Kastner. Erlangen 1823. *Meteorological essays and observations by I. Daniell. London* 1833. Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie. 3. Bd. Halle 1831 und 1832. Dessen Vorlesungen über Meteorologie. Halle 1840. Die Atmosphäre und ihre vorzüglichsten Erscheinungen von Dr. J. F. Günther. Frankf. am Main 1835. Meteorologische Untersuchungen von H. W. Dove. Berlin 1837. Abriß einer Geschichte der neueren Fortschritte und des gegenwärtigen Zustandes der Meteorologie von J. Forbes, übersetzt und ergänzt von Mahlmann. Berlin 1836.)

Zusätze zum dritten Kapitel der Elektricitätslehre.

I. Eine der wichtigsten Verbesserungen, welche die Volta'sche Batterie in neuester Zeit erfahren hat, ist ohne Zweifel die constante Kette (s. S. 423) und zwar Grove's Einrichtung derselben, nämlich Platin und Zink jedes Elementes durch eine poröse Thonzelle getrennt, ersteres Metall mit concentrirter Salpetersäure umgeben in der Zelle, während das amalgamirte Zink außerhalb der Zelle in verdünnter Schwefelsäure steht. Das theure Platin läßt sich hier mit Vortheil durch Kohle ersetzen, besonders durch die nach Bunsen's Vorschrift zubereitete, jedoch mit Beibehaltung der porösen Thonzelle, da es schwierig ist, der Kohle selbst eine solche passende Consistenz zu geben, daß sie dem Erfolge unbeschadet zugleich die Rolle des Diaphragma's übernehmen kann. Treffliche Winke über diesen Gegenstand findet man in Pogg. Ann. 54, 417 und 55, 265. Gleichwie in Daniell's constanter Batterie das durch Zerlegung des Wassers in Freiheit tretende Hydrogen zur Reduction des aus dem Kupfervitriol ausgeschiedenen Kupferoxydes verwendet wird (s. S. 464); eben so entzieht dieses Hydrogen in der Zink- Platin- oder in der Zink-Kohlenkette der Salpetersäure einen Antheil Sauerstoff, wobei sich salpetrige Säure bildet (s. S. 456), welche zum Theil aus der Flüssigkeit entweicht, und derlei Experimente in mehrfacher Beziehung sehr lästig macht. Es läßt sich aber (s. Warington in (Phil. Mag. 20, 393) mit noch sehr ansehnlichem Effecte, besonders bei der Zink-Kohlenbatterie, statt der Salpetersäure ein Gemenge einer concentrirten Lösung doppelt chromsauren Kali's mit englischer Schwefelsäure gebrauchen. Man nimmt 4 Gewichtstheile concentrirter Schwefelsäure auf 3 Theile doppelt chromsaures Kali. Das Salz, welches im Handel leicht zu haben ist, löset sich in dem zehnfachen Gewichte Wasser von gewöhnlicher Temperatur. Das Zink wird, wie in der Grove'schen Combination in verdünnte Schwefelsäure gesetzt. Hier entzieht das Hydrogen dem einen Mischungsgewichte Chromsäure den Sauerstoff, und es bildet sich Chromalaun. Es findet daher, wie bei dem Gebrauche der Daniell'schen Combination, durchaus keine Entwickelung von Gasen oder Dämpfen Statt, aber die Wirkung ist, wie unsere eigenen Versuche gezeigt haben, bei weitem kräftiger, so daß man sich der Anwendung der Salpetersäure völlig entschlagen kann. Zur Rechtfertigung des oben angegebenen Mischungsverhältnisses der Salzlösung mit Schwefelsäure dient Folgendes: Die Zusammensetzung des doppelt chromsauren Kali's ist $KO + 2CrO_3$, die des Chromalauns ohne Berücksichtigung des Wassergehaltes, welcher 24 Atome beträgt aber $(KO + SO_3) + (Cr_2O_3 + 3SO_3)$ oder $KO + Cr_2O_3 + 4SO_3$. Für $H_2 = 1$ hat man $K = 39$, $Cr = 28$, $S = 16$, $O = 8$, mithin $KO + 2CrO_3 = 151$ und $4(SO_3 + H_2O) = 196$. Es ist aber $151 : 196$ nahe wie $150 : 200 = 3 : 4$.

II. Aus dem Theilungsgesetze eines elektrischen Stromes (S. 430) fließen mehrere wichtige Folgerungen, wovon wir einige hier beifügen:

1. Es sey NP (Fig. 309) eine durch den Leiter AB geschlossene galvanische Kette. An diesen Leiter seyen in H und K die Enden eines zweiten Leitungsdrahtes, welchen wir mit einem Multiplikatorgewinde m verbunden denken, eingefügt. Bezeichnen wir die elektromotorische Kraft der Kette durch E, die reducirte Länge der Kette sammt den Theilen PAH und NBK des Schließungsdrahtes durch L, die reducirte Länge des Stückes HK durch z, die des Seitendrahtes nebst Multiplikatorgewinde durch m, endlich die Stromstärke in KBNPAH durch p, und jene in dem Seitendrahte und Multiplikatorgewinde durch p′, so haben wir nach 122 S. 430

$$p = \frac{E}{L + \lambda} \text{ und } p' = p \cdot \frac{\lambda}{m}$$

wobei
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{m} + \frac{1}{z} = \frac{z + m}{m z}$$

mithin
$$\lambda = \frac{m z}{z + m}$$
ist. Hiernach wird

$$p = \frac{E(z + m)}{L(z + m) + m z} \text{ und } p' = \frac{E z}{L(z + m) + m z}$$

Ist z gegen m sehr klein, wie es sich ereignet, wenn für HK ein kurzer dicker Draht oder starker Metallstreifen genommen wird, und das Multiplikatorgewinde aus vielen Lagen eines dünnen Drahtes besteht, oder wenigstens demselben ein langer Draht zugesetzt wird, so kann man ohne merklichen Fehler

$$p' = \frac{E z}{m(L + z)}$$

setzen, und ist überdieß der Widerstand in der Kette NP sehr bedeutend, was bei einer Säule aus einer größeren Anzahl Elemente Statt findet, so hat man $p' = \frac{E}{L} \cdot \frac{z}{m}$. Unter den genannten Umständen ist also die Stromstärke in dem Seitendrahte dem Quotienten $\frac{E}{L}$ und der Größe z direct proportionirt. Hiernach ergibt sich ein einfaches Mittel zur Interpretation der Anzeigen eines Multiplikators nach Stromstärken; man hat dazu bei Anwendung einer constanten galvanischen Kette von großem Widerstande bloß dem Zwischenstücke z verschiedene Längen zu geben und die entsprechenden Indicationen des Multiplikators zu beobachten. Eben so leicht lassen sich die Werthe von $\frac{E}{L}$ für verschiedene galvanische Ketten von großem Widerstande vergleichen; sie verhalten sich verkehrt wie die Werthe von z bei einerlei Ausschlag der Galvanometernadel. (Vergl. Petrina in Holger's Zeitschrift 6, 165 u. 242.) Der Bruch $\frac{E}{L}$ bedeutet die Stromstärke einer

galvanischen Kette, wenn selbe ohne Einschaltung eines fremden Widerstandes geschlossen wird, d. h. das Maximum ihrer Stromstärke bei dem stets in ihr vorhandenen Widerstande.

2. Es seyen zwei galvanische Ketten PN und P'N' (Fig. 310) durch einen gemeinschaftlichen Schließungsleiter AB mit einander verbunden, und die in jeder derselben wie auch im Drahte AB herrschenden Stromstärken zu bestimmen. Man nenne die elektromotorischen Kräfte dieser Ketten E und E'; ihre reducirten Längen, die bis zu A und B gehenden Polardrähte mitgerechnet, L und L'; die reducirte Länge von AB selbst L''; die Stromstärken, welche in NP, N'P' und AB Statt haben würden, wenn NP allein thätig wäre p, p', p''; diese Stromstärken wenn N'P' allein thätig wäre p_1, p_1', p_1'', und die bei der gleichzeitigen Thätigkeit beider Ketten darin obwaltenden Stromstärken P, P', P'': so ist, in so fern gleichnamige Pole der Ketten direct mit A und die anderen Pole mit B verbunden sind, d. h. in so fern die Ströme der Ketten in übereinstimmendem Sinne gehen,

$$P = p - p_1, \quad P' = p_1' - p', \quad P'' = p'' + p_1'$$

ferner findet man auf dem in I. betretenen Wege, wenn man zur Abkürzung $LL' + L'L'' + L''L = S$ setzt:

$$p = \frac{E(L'+L'')}{S}, \quad p' = \frac{EL''}{S}, \quad p'' = \frac{EL'}{S}$$

$$p_1' = \frac{E'(L+L)}{S}, \quad p_1 = \frac{E'L''}{S}, \quad p_1'' = \frac{E'L}{S}$$

folglich $P = \dfrac{E(L+L)-E'L''}{S}$, $P' = \dfrac{E'(L+L'')-EL''}{S}$, $P'' = \dfrac{EL'+E'L}{S}$

Sind die Ketten NP, N'P' ungleichnamig verbunden, so sind die Zeichen von p_1, p'_1, p''_1, oder was zu demselben Resultate führt, es ist das Zeichen von E' zu ändern. Auf demselben Wege gelangt man auch zu den Formeln für die Ströme, wenn mehr als zwei Ketten mit einander verbunden sind.

3. Einen Fall gleichnamiger Verbindung zweier Ketten stellt die Fig. 311, einen Fall ungleichnamiger Verbindung die Fig. 312 vor, welche sich beispielweise auf die Combination einer Zinkkupferkette mit einer Zinkplatinkette bezieht. Hier vertritt der mit b bezeichnete Draht die Stelle des Schließungsleiters AB in Fig. 310. Mißt man die in diesem Drahte mit Einschluß eines Galvanometers obwaltenden Stromstärken P'' und P'', in beiden Fällen, so hat man, mit Beibehaltung der obigen Bezeichnungen

$$P'' = \frac{EL'+E'L}{S}, \quad P''_1 = \frac{EL'-E'L}{S}$$

woraus $\quad P''+P''_1 = \dfrac{2EL'}{S}, \quad P''-P''_1 = \dfrac{2E'L}{S}$

mithin $\quad \dfrac{P''+P''_1}{P''-P''_1} = \dfrac{EL'}{E'L} = \dfrac{E}{L} : \dfrac{E'}{L'}$ folgt. Man hat

hiedurch wieder ein, und zwar scharfes Mittel das Verhältniß der Strommaxima zweier galvanischen Ketten zu bestimmen.

4. Durch Abänderung des Verhältnisses von L″ zu L kann man es leicht dahin bringen, daß P′ verschwindet, was mittelst eines eingeschalteten Galvanometers erkannt wird. In diesem Falle ist $E'(L+L'') = EL''$, mithin

$$P = \frac{EL' + E'L}{S} = P'' \text{ oder wegen } E' = \frac{EL''}{L+L''}$$

$$P'' = \frac{E}{S} \cdot \frac{LL' + L'L'' + L''L}{L+L''} = \frac{E}{L+L''}, \text{ daher } E' = P''L''.$$

Dieß gibt ein leichtes Mittel an die Hand, die elektromotorische Kraft einer beliebigen Kette zu finden, wenn man selbe mit einer andern Kette combinirt, und es kann hier sogar die zu untersuchende Kette eine inconstante seyn, wofern sie nur mit einer constanten Kette combinirt wird.

Ueber diese Gegenstände s. Pogg. Ann. 54, 161; 55, 43, 158, 511.

Verbesserungen.

Seite 111, Z. 27, statt »Vereinigung« l. »Verlängerung.«
» 143, » 24, statt »Es seyn« l. »Es sey (Fig. 56).«
» 191, » 11, v. u. statt »d_1, d_1 . . .« l. d_1, d_2 . . .«
» 198, » 6, statt »b« l. »d.«
» 200, » 15, statt »$S + P = Q$« l. »$S = P + Q$.«
» 238, » 10, v. u. statt »E D H« l. »E C H.«
» 239, » 20, v. u. statt »B C D gleich groß« l. »B C E gleich groß.«
» 248, » 9, statt »ihrer« l. »ihre.«
» 357, » 17, statt »ein anderer« l. »im anderen.«
» 358, » 13, statt »$\frac{ef}{n'f}$« l. »$\frac{ef}{n'e}$«.
» 380, » 8, v. u. statt »Holzstange« l. »Harzstange.«
» 433, » 7, statt «$\sqrt{\frac{fl}{\lambda}}$« l. »$\sqrt{\frac{fl}{h}}$.«
» 447, » 11, v. u. statt »von der Rechten gegen die Linke« l. »von der Linken gegen die Rechte.«
» 451, » 15, statt »a h c b« l. »a d c b.«
» 467, » 6, v. u. statt »590, 590« l. »390, 590.«
» 473, » 27, statt »elektro-magnetische« l. »elektromotorische.«
» 546, » 9, v. u. statt »A B« l. »M N«
» 547, » 16, v. u. statt »Hauptstrahles A B« l. »Hauptstrahles A C.«
» 550, » 2, v. u. statt »S A« l. »A B.«
» 552, » 6, statt »n . a h« l. »n . a v.«
» 563, » 13 und 14, statt »C′S′« l. »C S′.«
» 569, » 14, statt »cos β« l. »cos α.«
» 575, » 20, statt »A B C D« l. »A B D C.«
» 576, » 2, statt »H S′« l. »H S.«
» 604, » 2, v. u. statt »Fig. 336« l. »Fig. 335, b.«
» 720, » 28, statt »Blache« l. »Bache.«
» 817, » 26, statt »Fig. 392« l. »Fig. 393, a.«
» 828, » 16, statt »Fig. 393« l. »Fig. 393, b.«

Register.

(Die Zahlen bedeuten die Seite.)

A.

B.

C.

D.

E.

F.

K.

L.

M.

N.

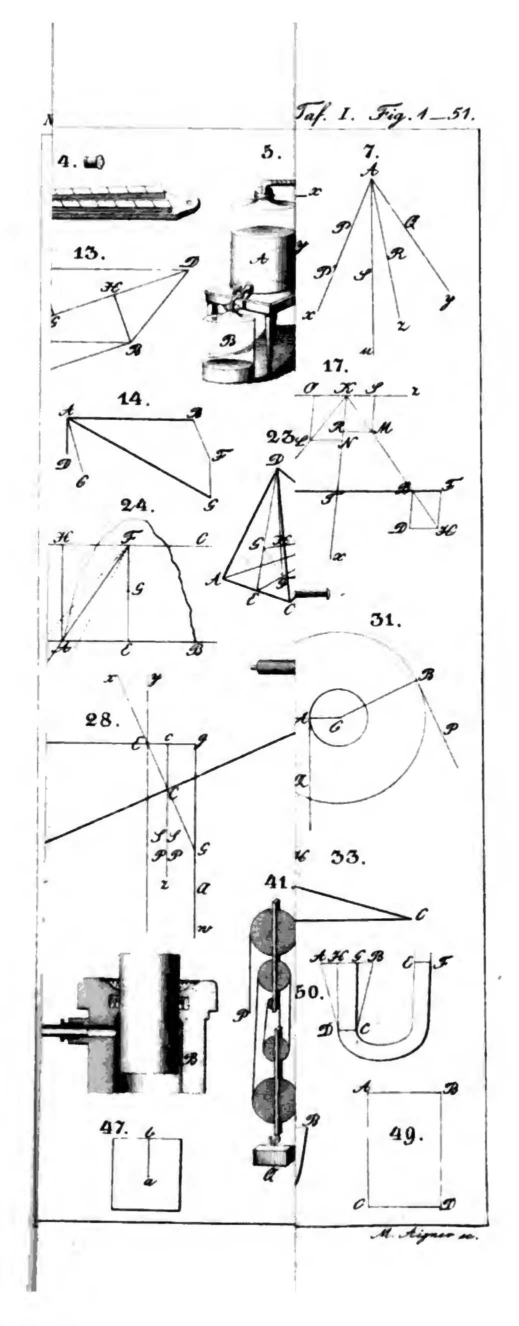
T.

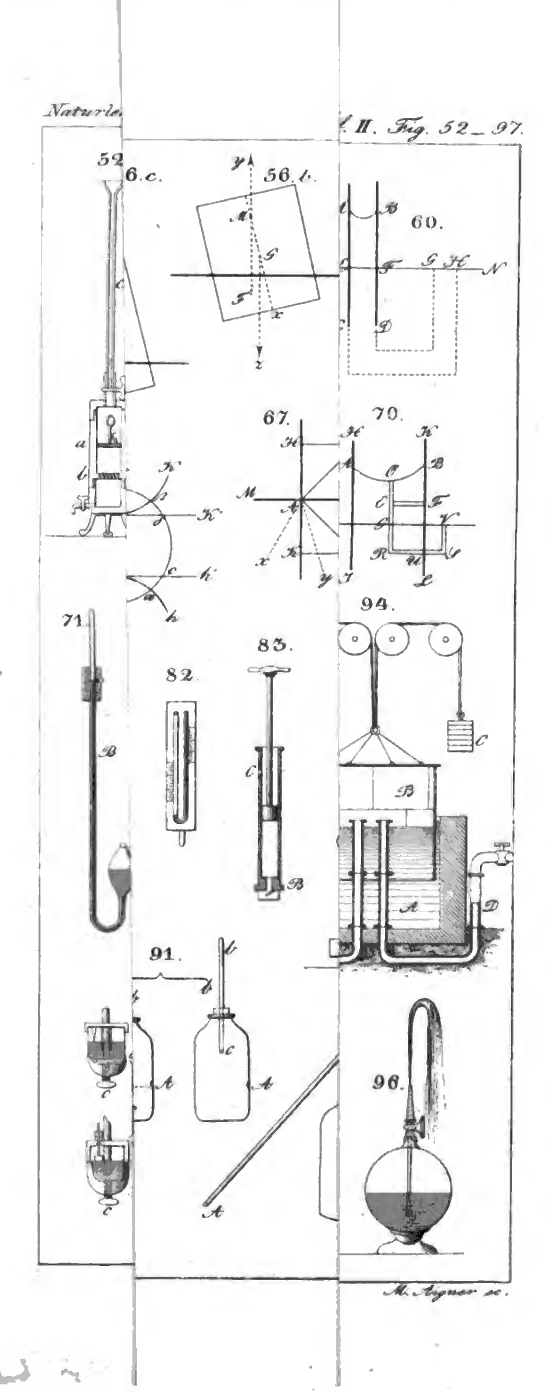
U.

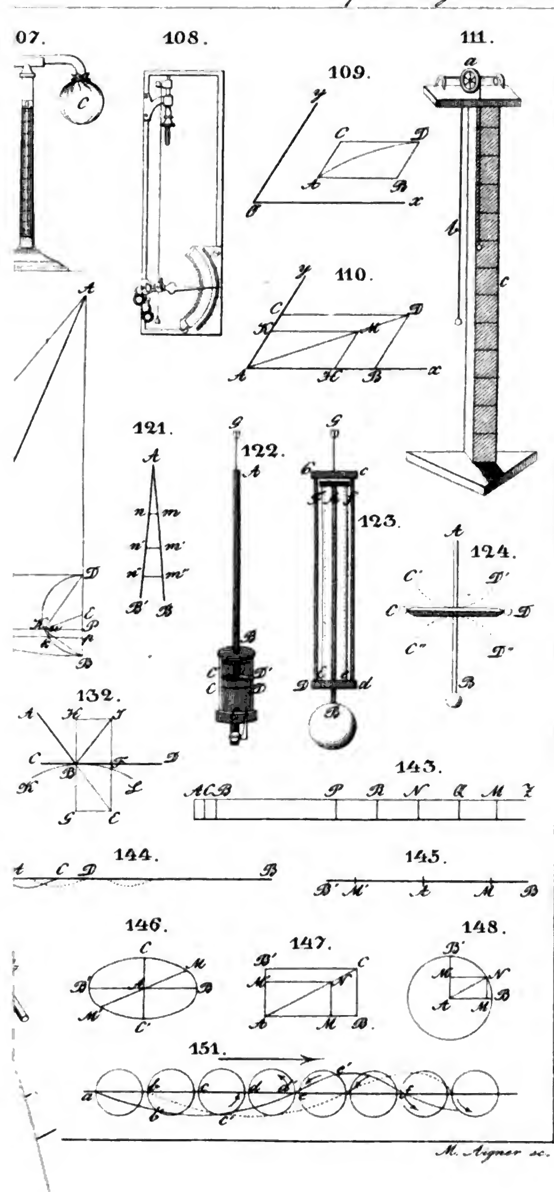
V.

W.

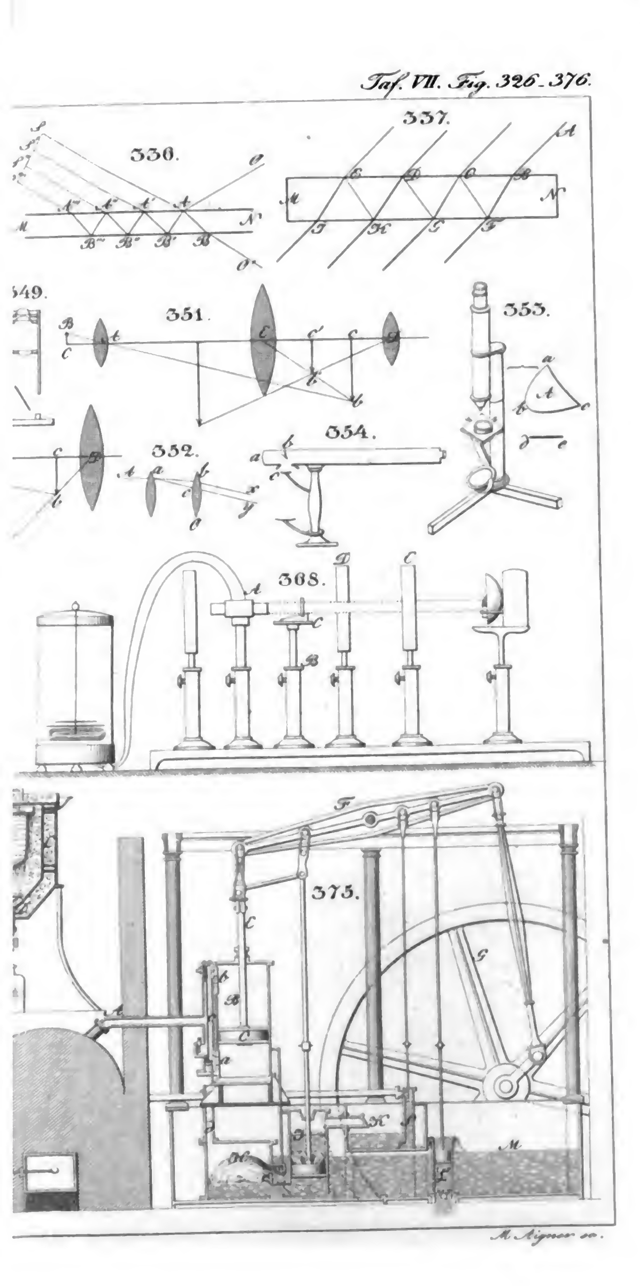
Z.

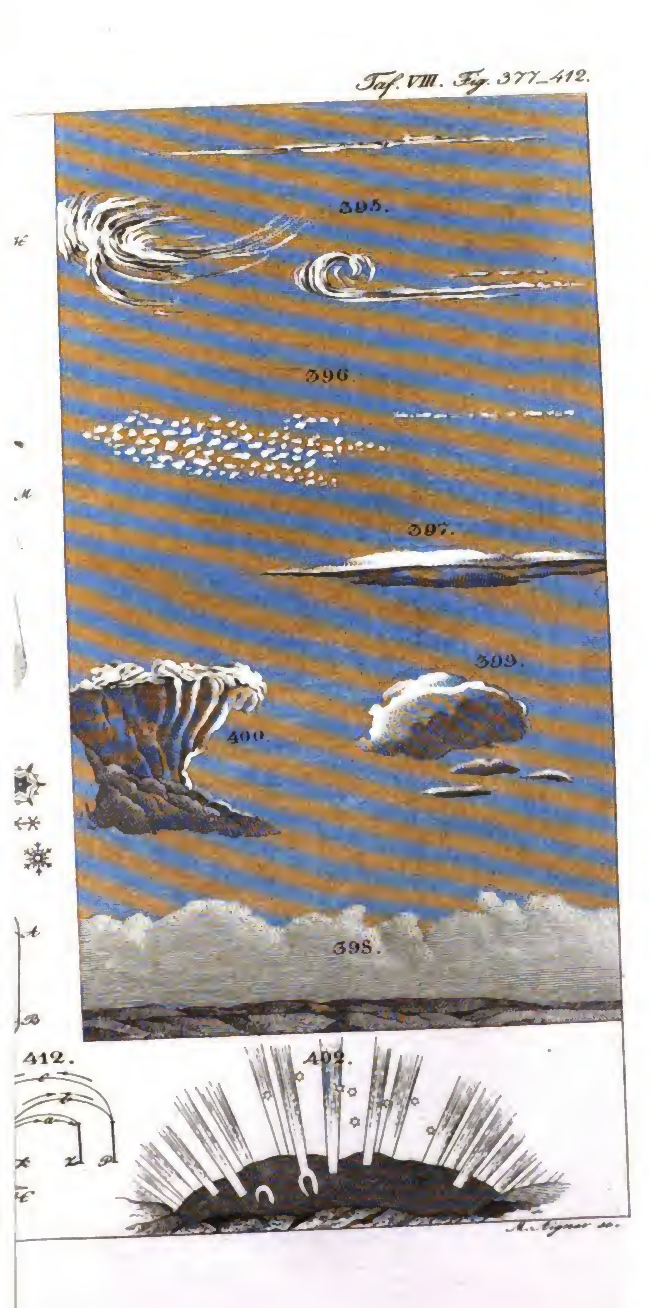

Taf. I. Fig. 1_51.
4.
5.
7.
13.
14.
17.
23.
24.
28.
31.
33.
41.
47.
49.
50.
M. Aigner sc.

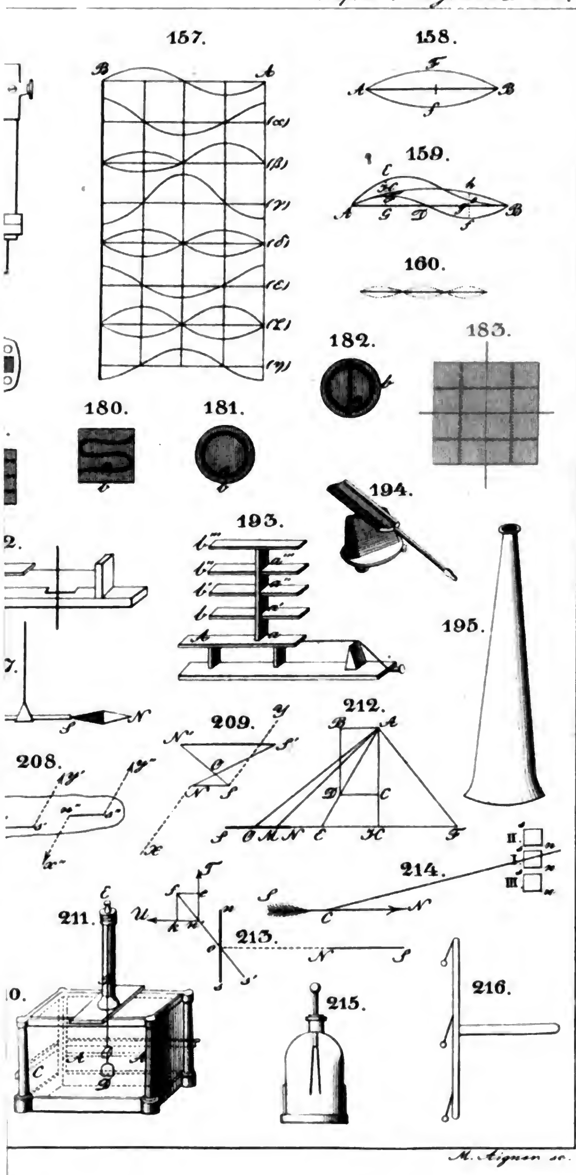

Naturle.
. II. Fig. 52 _ 97.
52
6. c.
56. b.
60.
67.
70.
71.
82.
83.
94.
91.
96.
M. Aigner sc.


07.
108.
109.
110.
111.
121.
122.
123.
124.
132.
143.
144.
145.
146.
147.
148.
151.

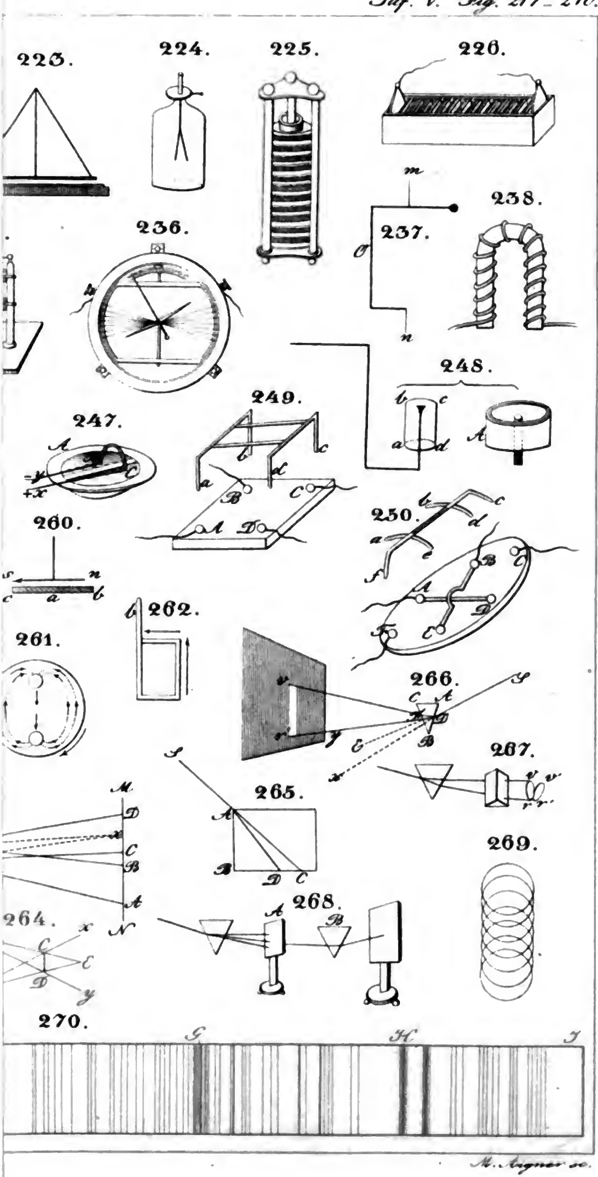
M. Aigner sc.


Taf. VII. Fig. 326–376.
336.
337.
349.
351.
352.
353.
354.
368.
375.
M. Aigner sc.

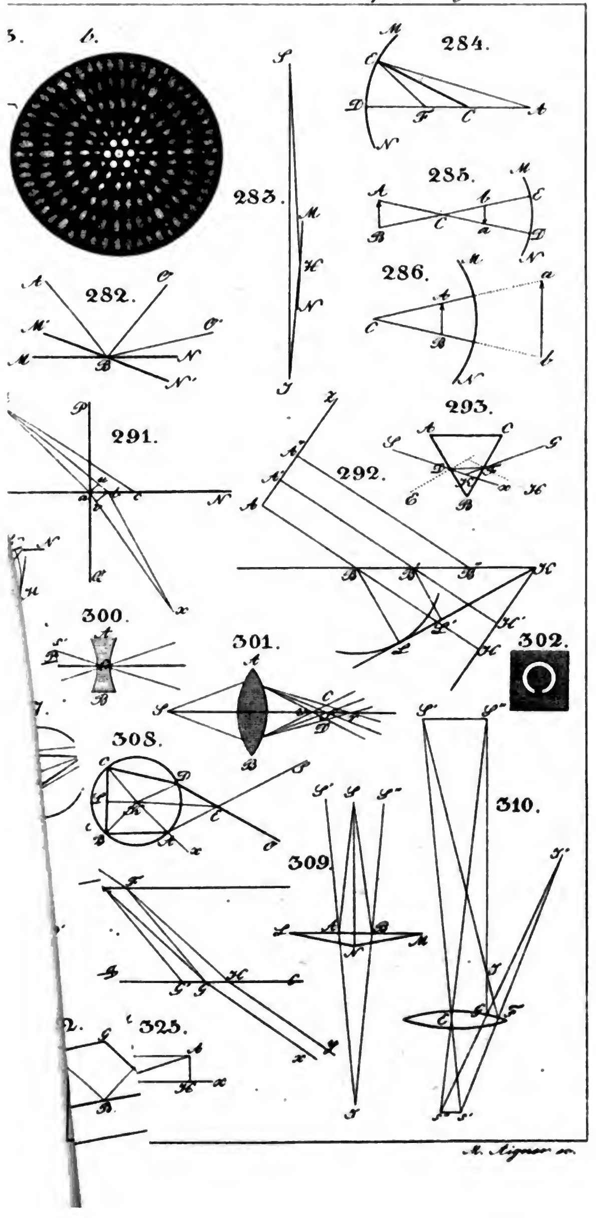

395.
396.
397.
399.
400.
398.
412.
402.
M. Aigner sc.


157.
158.
159.
160.
180.
181.
182.
183.
193.
194.
195.
208.
209.
211.
212.
213.
214.
215.
216.

M. Aigner sc.


223.
224.
225.
226.
236.
237.
238.
247.
248.
249.
250.
260.
261.
262.
264.
265.
266.
267.
268.
269.
270.
G
H
I

M. Aigner sc.



A. Aigner sc.





